原子能

Атомная энергия

АПРЕЛЬ 1960

8
1960

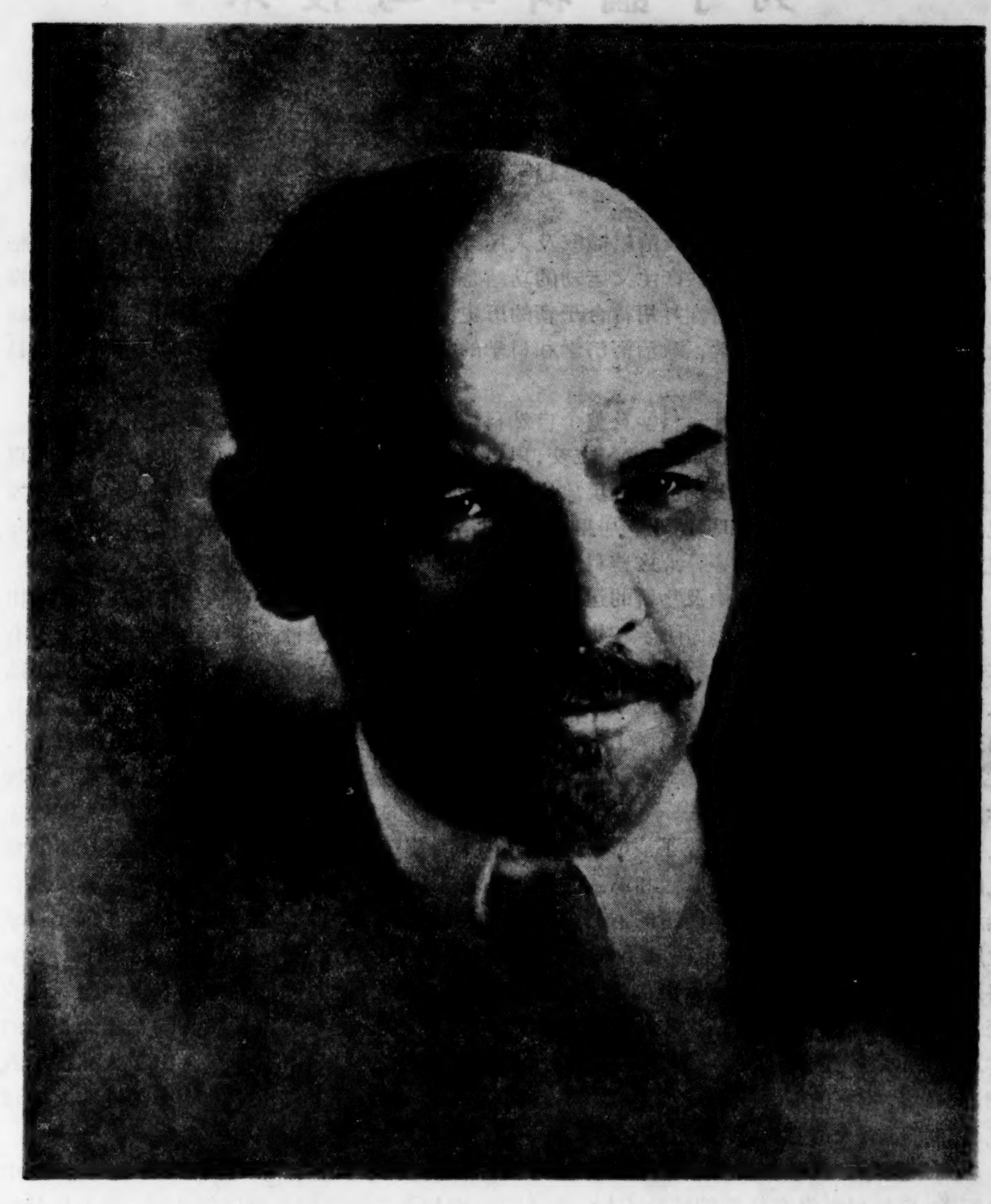
中国科学院原子核科学委員会編輯委員会編輯
科学出版社出版

目　　录

簡　　报

科 技 新 聞

新 书 介 紹



列宁論科学与技术

庫里可夫(И. И. Кульков)

苏联科学的形成、不断地向前发展和所取得的成就是与苏联共产党及苏联国家的奠基人、全世界劳动者的領袖和导师、最伟大的思想家及科学泰斗——符·伊·列宁的名字紧密地联系在一起.

在列宁身上出色地体現了政治組織家及人民羣众領导者的智慧和科学家的理論力量的結合. 列宁对国际工人运动和共产主义运动的功績是他在与形形色色机会主义分子的斗爭中捍卫了馬克思主义理論的純洁性并用符合于新的历史条件的发現与結論丰富了馬克思主义理論. 列宁对馬克思主义哲学、政治經济学和科学的共产主义理論所作出的貢献是最伟大的科学思想成就的一部分.

列宁的理論遺产是对社会科学及整个自然科学进一步的发展作出的巨大貢献.

如众所周知,十九世紀和二十世紀之交,以自然科学方面的伟大发現为特征: 1895 年发現伦琴射綫(伦琴), 1896 年发現放射性現象(貝克勒尔),1897 年发現电子(湯姆逊), 1898 年发現钋和鐳(皮耶尔·居里和瑪丽亚·居里), 1900 年奠定了量子理論的基础(普朗克), 1905 年建立了相对論(爱因斯坦)等等. 这些科学成就根本上改变了科学家对自然的看法.

揭示并使有关物质結构及物质的运动形式等概念深刻化以后, 这些新的发現在那时指出了旧物理学哲学基础——形而上学和机械唯物論的狹隘性和局限性. 許多物理学家由于沒有掌握馬克思主义理論和不了解馬克思主义辯証法,在这些新发現面前显得无能为力,他們不能从哲学上总結和說明这些发現而成了唯心主义的俘虏. 唯心主义者得出了反动的結論: 物质消灭了,运动可离开物质存在,科学上的概念和規律不是客观存在的反映,而是"約定的符号","是"象征",是科学家贊同的結果等. 所有这些造成了物理学上的危机. 列宁写道: "現代物理学危机的实质就是:旧定律和基本原理被推翻,意識之外的客观实在被拋弃,这就是說,唯物主义被唯心主义和不可知論代替了."(列宁全集第 14 卷第 272 頁,人民出版社)列宁在分析了危机的本质揭示了危机的社会原因和認識論原因后, 指出了摆脫危机的道路和正确地解决随自然科学的发展而产生的哲学問題的道路, 列宁卓越的著作"唯物論与經驗批判論"开創了科学发展上的新时代,这部著作現在成了每个唯物主义科学家必讀之书. 毫无疑問,这本书的影响将远远超越二十世紀. 列宁指出, 关于物质結构的旧时概念随着我們知識的丰富和深入而改变,但是,无論我們对物质結构和物质特性的知識怎样改变, 物质是不依我們的意識而存在的客观存在的事实依然不变. 列宁在指出物质結构复杂性的无限性的同时,指出了人类揭示我們周围世界秘密的能力沒有限度. 列宁关于原子的可分性、原子和电子的无穷尽性的天才預見具有特別重大的意义,他的預見为后来原子核物理的发展情况所証实.

列宁教导: 哲学在自然科学中起着特別重要的作用. 在"战斗的唯物主义的意义"一文中他写道,自然科学沒有哲学的結論不行, 为了順利地与資产阶級的影响进行斗爭, 每个自然科学者必須成为辯証唯物主义者. 这一論断对苏联科学的形成和发展有着重大的意义而且帮助所有进步的科学家对阻碍科学思想发展的反动思想作斗爭.

列宁作为杰出的科学家懂得科学的决定性意义, 他把科学称为"人类的驕傲". 尽管在苏維埃政权成立初期, 列宁領导苏維埃国家击退外国干涉者和国内反革命的攻击, 工作十分繁

忙，他对科学仍給予很大的注意．他認为，科学应作为建設新的社会主义制度的最重要的工具之一而服务于工人阶級．他說："在科学代表、无产阶級和技术人員的联盟面前沒有任何黑暗的势力(列宁全集俄文版第30卷第376頁)．

列宁清楚地看到新的社会制度——社会主义給科学的发展提供了多么巨大的可能性，因为只有社会主义才能"使科学摆脫資产阶級的桎梏，摆脫資本的奴役，摆脫做卑污的資本主义私利的奴隶的地位．只有社会主义才可能根据科学的見解来广泛推行和眞正支配产品的社会生产和分配，也就是如何使全体劳动者过最美好、最幸福的生活．只有社会主义才能实現这一点．"(列宁全集，第27卷第385頁，人民出版社)．

无数的文件：政府的决議，函件和記事，講話和报告，文章的大綱及提要都令人信服地証明了列宁对科学在国家生产力发展上，对进行文化革命上曾給予多么大的重視．

"科学技术工作計划草案"很鮮明地証明了这点．在这个計划草案中国民經济最高委員会建議委託科学院立即拟定改組苏維埃俄罗斯工业和提高經济的計划．除了提出总的任务外还提出了計划的具体內容，这个計划应該包括"俄罗斯工业的合理分布"和"生产的……合理集中"(列宁全集第27卷，第288頁)．对工业和运輸业的电气化和把电运用到农业中去等給予特別重要的意义．就这样列宁指出了社会主义建設条件下科学院的具体活动綱领，确定了苏联科学和技术的基本发展方向．

只有在先进科学技术取得最新成就的基础上才能实現列宁拟定的全部措施．为了使科学和社会主义建設实践更加接近，在国民經济最高委員会中設立了科学技术部．科学院和国家生产力研究委員会获得必要的財政資金去实現宏伟的科学工作計划．列宁經常注意不使对发展国民經济有重大意义的科学研究工作受到任何障碍．列宁对科学和技术上的成就非常关心并予以最大的注意．克尔日然諾夫斯基(Г. М. Кржижановский)院士回忆道："从列宁与我作亲切友好談話的几分鐘休息时間內，我了解到再沒有比談科学新聞，特別是談技术上經常取得的成就再好的方式能使列宁摆脫一下要解决的重大問題了，而且在这些成就中最使他注意的当然要推那些可以在我們俄罗斯直接应用的成就．"("科学工作者"上册，俄文版第41頁，1925年)列宁关心的是电工技术，无綫电技术，地下煤气化，化学在生产中的应用，內燃机制造业，航空技术及其他許多的技术等．

大家都知道，列宁認为全国电气化有何等巨大的意义．根据他的創議并在他亲自参加之下拟定了著名的俄罗斯国家电气化的計划．列宁把国家电气化理解成建立共产主义的物质生产基础，发展巨型工业，首先是在先进技术和劳动生产率高的基础上发展重工业．列宁指出："共产主义就是苏維埃政权加全国电气化"．这个著名的論断成为苏联共产党及全体苏联人民活动的基本指南．这个論断正在順利地变成为現实．在我国不仅在建設着大型的热电厂和大型的水电站，并且正在建設大型原子能发电站．

在內战最激烈的时候，在飢餓和破坏的环境下，列宁非常有远見地估計了庫尔斯克磁异常(KMA)的意义．他写道："我对庫尔斯克磁异常的考察工作所具有的特別的重要性予以注意……在这里我們拥有几乎是世界上未見过的財富，它能使鋼鉄工业的情况彻底改变"．(列宁选集俄文版第17卷，466頁)．現在列宁的指示正在順利地执行着，庫尔斯克的矿石越来越大量地冶炼成为金属．

还在无綫电刚开始发展的时候，列宁对无綫电的政治意义及国民經济的意义作了很高的評价，称之为"最重要的事业"．符拉基米尔・伊里奇在給著名的科学家、无綫电技术专家米・亚・邦契-布魯也維奇(М. А. Бонч-Бруевич)的信中这么写道："現在借此机会，对于您在无綫电发明方面所进行的巨大工作表示深深的謝意和积极的賛助．您所創造的不要紙张、沒有

距离'的报紙，将是一件大事．对您的这一工作以及这一类的工作，我一定全力协助．"(列宁全集第35卷第435頁，人民出版社)由于列宁亲自經常的支持，无綫电技术很快地发展成为科学技术的一个強大部門，并在符拉基米尔·伊里奇还在世时就在世界上占了主要的地位．

列宁經常关心那些能減輕人的劳动和能提高人的生活水平的科学技术成就．例如列宁在1913年写的专門叙述地下煤气化的一文"一个伟大的技术胜利"中写道："这一发明在工业中所起的变革将是巨大的．因为由于地下煤气化，可以节省用在采煤和运煤上的大量人力劳动．如果說在資本主义制度下，这个发明必将造成工人大批失业，貧困現象更加严重，则在社会主义制度下，这个发明就能立刻縮短一切工人的工作时間，例如从8小时縮短到7小时，甚至更少些．所有工厂和鉄路的'电气化'，一定能使劳动条件更合乎卫生，使千百万工人免除烟雾、灰尘和泥垢之苦，能很快地把肮脏的令人厌恶的工作車間变成清洁明亮的、适合人們工作的实驗室．"(列宁全集，俄文版第19卷第42頁)列宁正是这样去了解科学技术最新成就的意义——为人类利益服务，而并非相反．

列宁指出：必須經常注意外国的科学技术成就并把它們用到建設新社会的事业中来．正因为如此，他支持在国民經济最高委員会科学技术部之下建立外国科学技术局的倡議．列宁还建議把科学家和工程师派到外国去研究外国經驗并收集最新科学技术成就的文献，以便立即把它們用来順利地建立新的社会主义的經济．

列宁認为发展国际科学技术合作具有重要的意义．关于这一点可用列宁在外交人民委員会契切林的信上所写的批語来說明，这封信提到了苏联对金奴耳兹会議的建議(参閱列宁选集俄文版第16卷，第452頁)．

遵循着列宁的遺訓，苏联致力于国际間广泛的技术合作，其中也包括原子能的和平应用方面．"我們准备在和平利用原子能的事业中和各国人民合作，我們会很高兴，如果这个号召能为各国响应的話"．(H. C. 赫魯晓夫对美国之行讀者来的信件和电报的回答，1959年9月15日"眞理报")．原子能和平利用上最明显的国际科学技术合作例子是莫斯科郊区杜布納联合原子核研究所的活动．十二个国家的科学家在这个研究所內把自己在原子核研究工作中的力量联合起来，苏联把独一无二的設备，包括把基本粒子加速到六亿八千万及一百亿电子伏的加速器轉交給联合研究所．

苏联为了使和平利用原子的福利成为更多人的财产，极乐意地帮助許多国家建立本国的原子能科学研究中心，为它們提供設备，仪器，研究用反应堆，加速器，同位素．

苏联的科学事业遵循着列宁的遺訓，得到了巨大的成就．赫魯晓夫在我們党第二十一次代表大会上宣布："苏联的科学家，設計师和工程师为我們的祖国作出了巨大功績，他們为建設共产主义的全民事业作出了应作的貢献．"(赫魯晓夫，1959—1965年苏联发展国民經济控制数字，莫斯科俄文版，国家政治出版社，1959年，第12頁)

苏联的科学家和工程师在原子能的研究、变換和和平利用的事业中取得了卓越的成就．原子核物理方面的成就是巨大的．为了順利解决巨大的极困难的問題——实現受控热核反应已做了不少工作．在苏联建成了世界上第一个原子能发电站，其他功率更大的原子能发电站正在运轉和建造．建成了世界上第一艘"列宁"号原子破冰船．在国民經济中广泛地应用放射性同位素和稳定同位素．

苏联科学技术的卓越胜利是人造地球卫星，制成了第一个太阳系人造行星，发射了把苏联国徽带到月球的宇宙火箭，在月球背面攝影和許多其他的伟大成就．这些伟大的成就說明了苏联科学所取得的巨大进步，而苏联科学的发展道路和远景都是符拉基米尔·伊里奇·列宁所規定的．

研究用核反应堆BBP-C的結构

科兹洛夫(В. Ф. Козлов)
澤姆良斯基(М. Г. Землянский)

为了进行和平利用原子能的科学研究工作，在苏联建造了水-水反应堆.

目前这类反应堆在苏联和其它社会主义国家已經建成和运轉. 在1957—1959年已經有六个这样的反应堆投入运行，有五个反应堆(其中四个具有加强功率)正处于制造、安装和起动試驗阶段.

本文描述了BBP-C反应堆的結构和其实驗装置. 反应堆的物理特性列于文献[1]中.

反应堆的实驗能力

核反应堆用来获得~$2\cdot10^{13}$中子/厘米^2·秒的中子通量. 它具有足够的后备反应性，以便进行研究工作[2]或制造放射性同位素. 为了这些目的，在活性区內設置了八个直径为40毫米的孔道和一个直径为60毫米的干燥孔道，在压出器里設置了二十个直径为60毫米的孔道，这些压出器是在工作开始时装在活性区內的.

在活性区边緣装有用挡板关住的九个水平孔道，其中六个孔道的直径是100毫米，其余三个是60毫米. 此外，在活性区边緣还装有一个可移开的热柱，这个热柱具有四个直径为80毫米的垂直孔道，这些垂直孔道又和直径为100毫米的水平孔道連在一起. 热柱的水平孔道用手动挡板关住. 挡板放在鑄鉄防护层中.

所有垂直和水平孔道都用特殊的机械手操纵. 在反应堆的混凝土防护层內装設了三个直径为350毫米的生物孔道和四个直径为80毫米的控制用孔道.

在反应堆外壳結构中預先考虑了在活性区內装設两个实驗迴路的可能性.

反应堆的主要特性

BBP-C反应堆(图1)有下列主要特性:

热功率，瓩……2000
最大热流，大卡/米^2·时……$0.44\cdot10^6$
释热元件盒数目:
　工作初期……31
　工作末期……51
冷却活性区的第一迴路蒸餾水流量，米^3/时……650
冷却蒸餾水的第二迴路工艺水流量，米^3/时……250—300
装載量，公斤 U^{235}
　工作初期……4
　工作末期……5.6

用水、鑄鉄以及(普通的和重的)混凝土作为輻射防护层. 反应堆的径向防护层是水(800

毫米)、鑄鉄(200 毫米)和密度为 3.2 克/厘米^3 的混凝土(1600 毫米)．在管子和通风柜通过防护层的地方装設有鉛板和鑄鉄板．活性区上面的水防护层厚 3.5 米，活性区下面的厚 1.15 米．

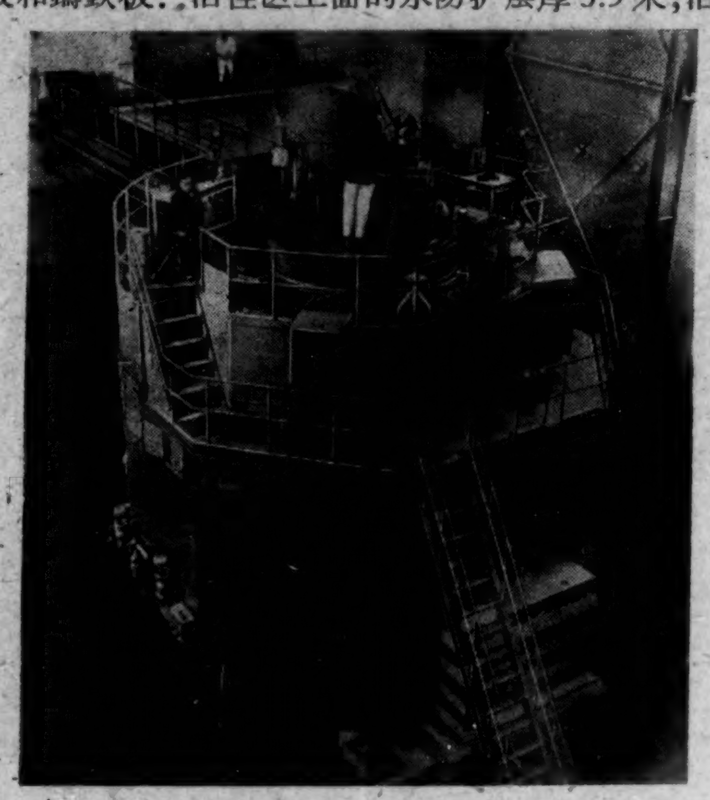


图 1 从热柱方向看去的 BBP-C 反应堆的形状

此外，頂部还有厚 800 毫米的鑄鉄圓盘作为上部防护层．

为了避免放射性空气和蒸汽的扩散，在反应堆的頂部、底部以及释热元件貯藏井的上部进行通风，在这些地方保持恆定負压．

反应堆的装載量保証后备反应性 $\Delta k = 0.05$．用控制棒来补償后备反应性和控制反应堆，有一部分控制棒用作事故防护．

第一迴路的工艺流程图

装置的工艺流程图画在图 2 上．

蒸餾水在反应堆活性区中从 34°C 加热到 36°C．用离心泵使蒸餾水循环．蒸餾水在两个热交換器中(每个热交換器面积～95 米^2)把热传給第二迴路流动的水．蒸餾水中裂变碎片的淨化在过濾器內进行．过濾物包括阳离子交換剂、阴离子交換剂和活性炭．这些吸收剂在装入过濾器以前加以特殊处理．过濾器只是当蒸餾水中出現碎片的放射性时才定期地接入迴路中．

为了消除反应堆工作时形成的爆炸性气体，設置了除气器，有不到总流量 10% 的蒸餾水不断地流过它．

图 3 和 4 給出了第一迴路設备布置的概念．这些設备的主要部分装在地下室中，地下室有很厚的防护墙．

在反应堆装置中保証进入方便和設备可靠地工作，并保証导管能自动补償．

为了在吸入管建立压头，避免泵工作时由反应堆功率波动引起的空隙現象，水泵机組装設在比反应堆低得多的地方．

为了避免工作人員偶然的錯誤，排水活門和閥門有手动传动机构，因为用电传动机构时可能偶然地打开排水装置．这会把水从反应堆中排出，其結果也可能因剩余释热而引起重

大事故.

热交换器垂直地装設，以便同时利用它們作为迴路中机械混合物的捕集器．蒸餾水在热交换器底部速度較小，但方向有急剧的变化，因此为机械混合物的析出創造了条件．混合物用

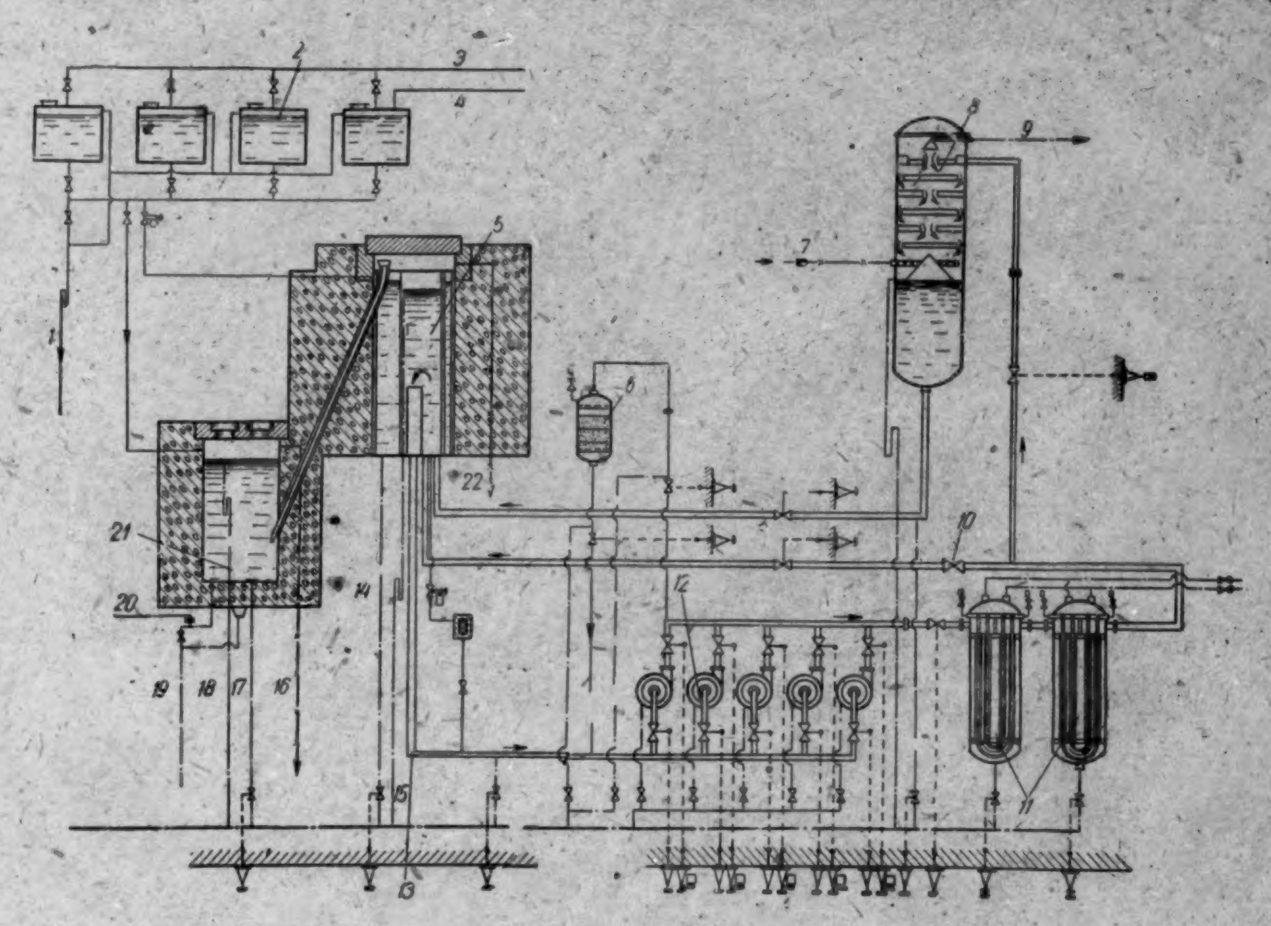


图 2　装置的工艺流程图

1——排往排水設备；2——蒸餾水箱；3——蒸餾水；4——工艺水；5——反应堆；6——过滤器；7——从中央大厅来的空气；8——除气器；9,16,22——去工艺通风系統；10——节流閥；11——热交换器；12——水泵；13——导管；14,17——排水管；15,18——溢流管；19——去排水系統；20——接水平仪；21——用过的释热元件盒的貯藏井.

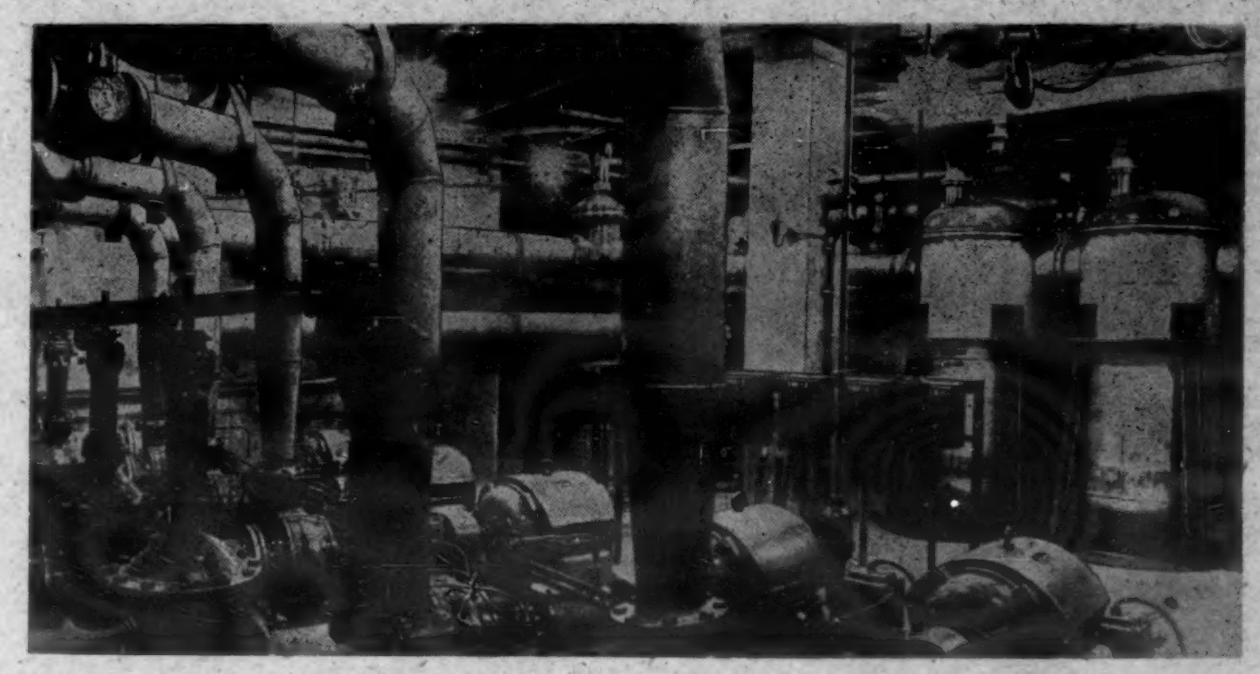


图 3　堆的水泵間

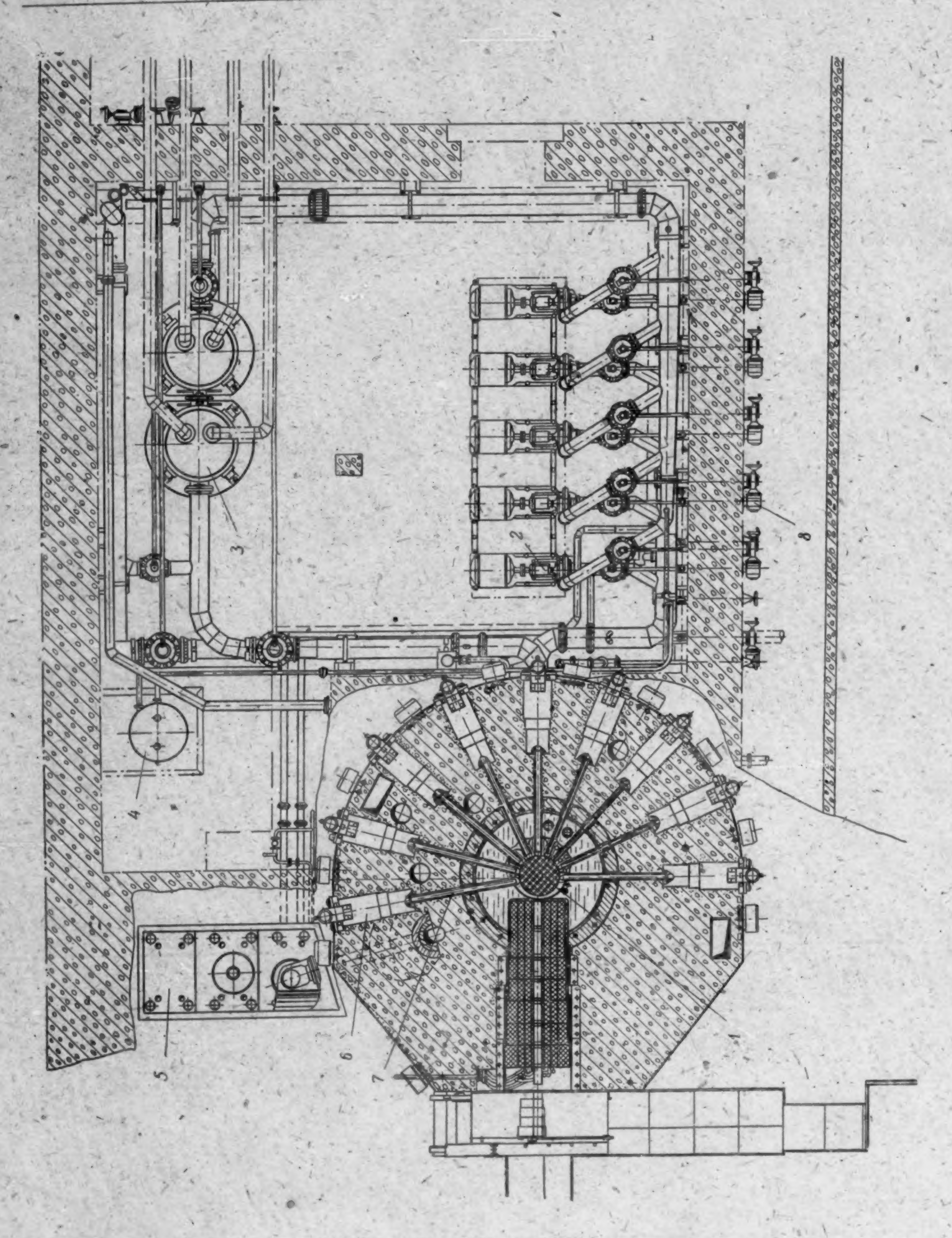


图4　堆和水泵間的水平剖面图

1——反应堆；2——水泵；3——热交换器；4——过滤器；5——貯藏井；
6——組挡板；7——水平孔道；8——与閥門連接的传动机构。

定期排水的办法排入废水箱中.

为了調节蒸餾水通过迴路中除气器(在热交换器后面)的流量,装設了特殊的节流装置,它可以借助于地区信号站和配电盘作定时的控制(見图 2). 节流装置的結构可以避免导管完全堵塞,因为在利用电传动机构时很快地完全截断流量可能导致水击.

为了防止蒸餾水塡滿和添注入反应堆水箱超过規定水平时发生溢流,設置了溢流管(溢流可能使蒸餾水落入游离室孔道和挡板中,其結果游离室可能損坏,而挡板部件遭到腐蝕). 当接入除气器时,反应堆水箱內蒸餾水的水平面降低,因此只有在停泵时,即迴路中循环中断时,才把蒸餾水添置到反应堆水箱內达到規定的水平.輔助迴路导管和溢流管的断面积适当选择,使得迴路中循环中断时避免溢流. 为了防止頂部防护的鑄鉄盖板上形成冷凝水并防止冷凝水滴入游离室,在箱上面經常保持眞空.

反应堆的結构

反应堆的部件和机构安装在支承底座和骨架装置上(图 5). 利用这些中間构件(底座和

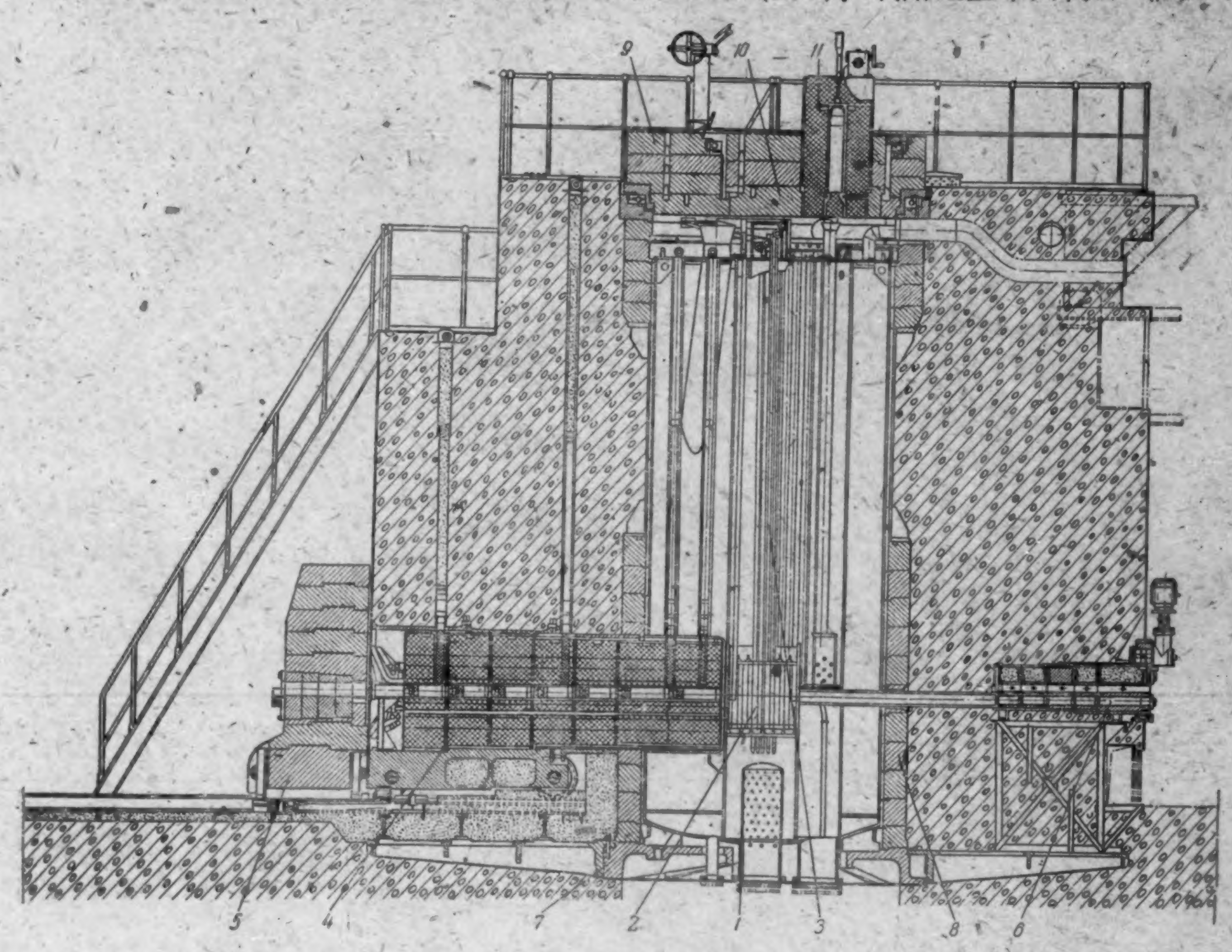


图 5 反应堆沿热柱切开的剖面图

1——反应堆外壳; 2——活性区; 3——調节棒孔道; 4——热柱; 5——热柱的防护层; 6——挡板; 7——支承底座; 8——骨架装置; 9——頂部旋轉盖板; 10——小旋轉盖板; 11——容器.

骨架装置)就可以在工厂中把反应堆完全装配好、进行部件的修整、調整机构的工作、并确定部件之間的相对位置. 这大大簡化了反应堆在工地上的安装工作,并在安装时不再需要用作为結构部件的混凝土防护层,提高了安装质量,縮短了安装时間. 有了这种結构,就可以把这类

反应堆做成标准型式，使它的安装和整套反应堆装置投入运轉的工作順利实現．图 6 上表出在車間中把反应堆装配在支承底座和骨架装置上面的情景．

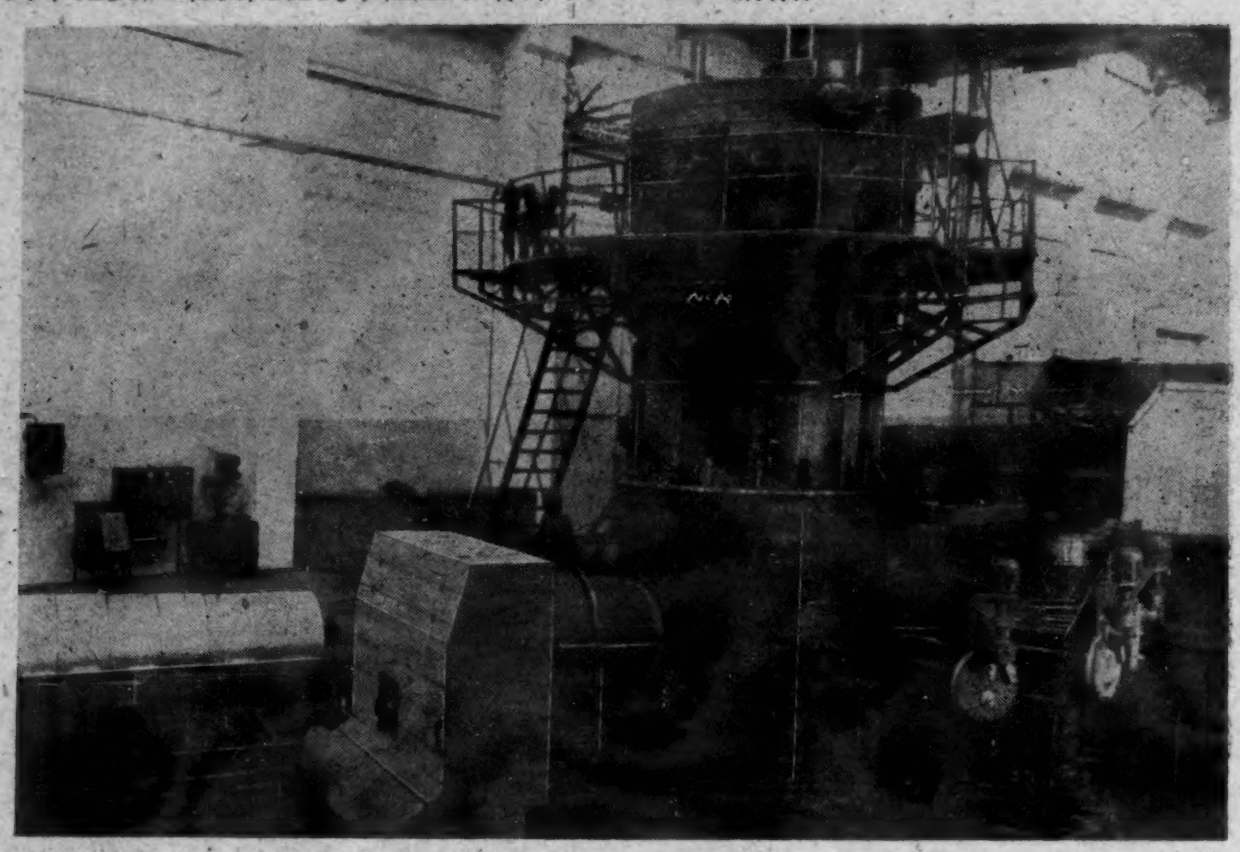


图 6 反应堆的車間装配图

反应堆的活性区放在箱中，箱直径2.3米，高 5.9 米，由鋁合金制成．此外，在箱中还配置有实驗和輸送孔道(图 7)以及控制棒．

箱子由三个焊在球形底板上的圓柱形弯板和两个可以取下的盖板組成．利用普通的弯板可以減少迴路中載热剂的体积，这样就減少了废水箱的容积，释热元件复盖层的密封被破坏的情况下，被沾污的載热剂排至废水箱．箱上焊有九个水平孔道(見图 4)、放置热柱前圓盘的壁龕以及七个穿透的垂直孔道．这些垂直孔道供实驗用，把輻照样品送往热室和装設实驗迴路．为了把释热元件盒送往貯藏井中，在箱上还焊有輸送孔道的斜管(見图 7)，其內径为 200 毫米．箱底部焊有溢流管、排水管、循环管以及控制-測量仪表用的管子．箱的頂部装有：带有九个調节棒用垂直孔道的十字形支架、輻照样品的孔道、两个准备装載释热元件盒的孔道以及七个装設游离室的孔道．

支承底座上装了骨架装置，它的底部是一个鑄鉄环，外側是圓框，頂部也是一个鑄鉄环，另外还包括带有台架的水平实驗孔道的挡板、起梁的作用的鑄鉄短管以及热柱的軌道．装設骨架装置的鑄鉄环主要是为了減少混凝土中的輻照释热．骨架装置頂部安装了大的旋轉盖板(見图 5)，它同时是防止工作人員受到照射的頂部附加防护层．盖板用手动和电传动机构使其旋轉．在它上面偏心地装了一个带有手传动机构的小旋轉盖板．在运行过程中小盖板上安装有机械手和光学装置(見图 7)，并装有容器(見图 5)，它用来在活性区手动卸料时輸送释热元件盒．

反应堆骨架装置四周有混凝土防护层，其中装設有带鑄鉄防护层的斜輸送孔道、生物孔道、存放机械手装置的孔道、保存游离室与控制和防护系統的棒的七个孔道、热柱的实驗孔道、存放塞子和光学装置的孔道、导管、通风管道、电气管道、实驗室中用的电纜箱、以及控制-測量仪表和剂量仪表的輸出管和脉冲管．在鑄鉄短管組成的洞中安設了热柱，其端面用可移动的

鑄鉄防护块盖上(見图 5).

反应堆混凝土防护层的頂部复以不銹鋼. 在这个防护层的頂部有一些洞, 其中装設有悬

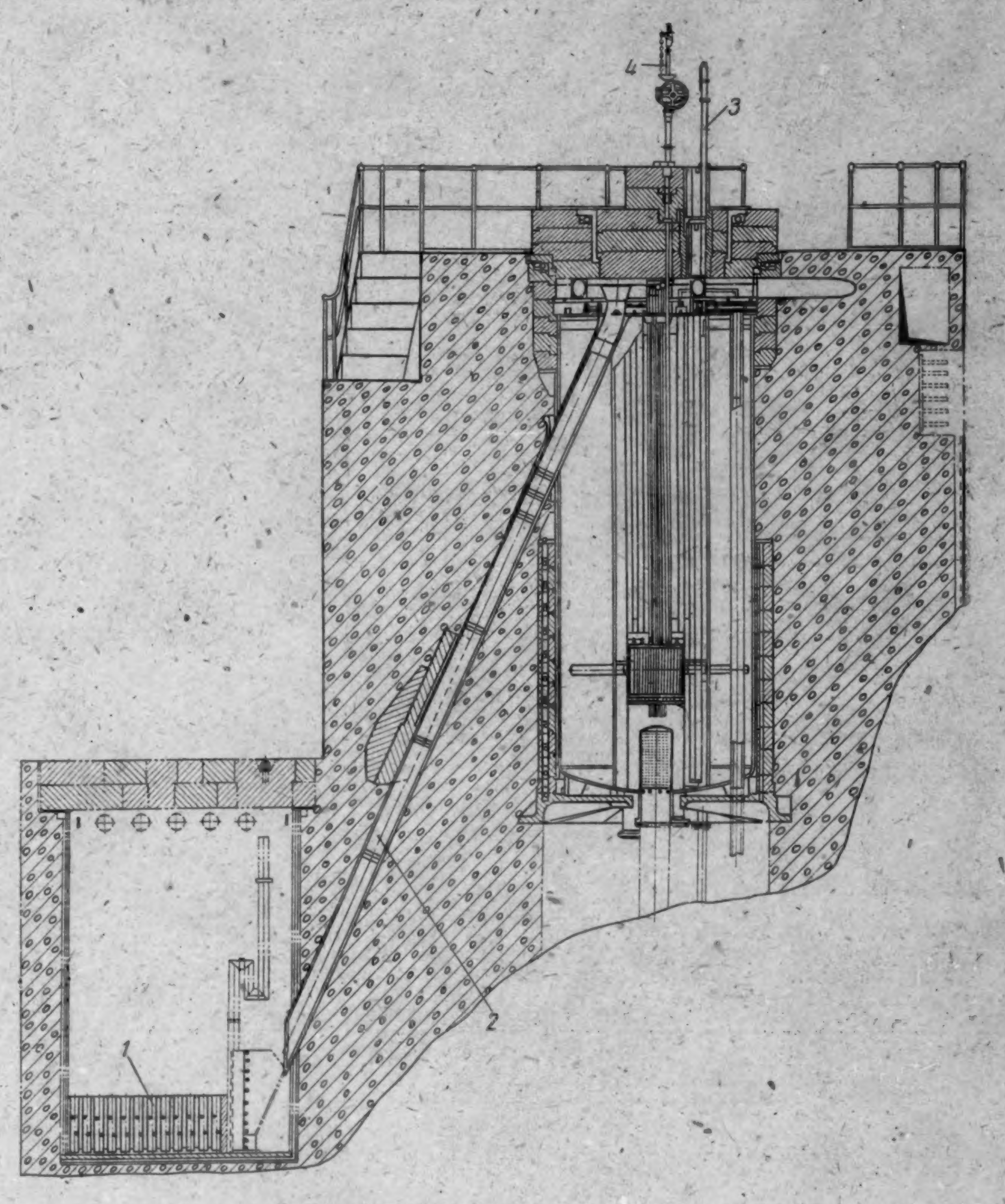


图 7 反应堆沿輸送孔道切开的剖面图

1——貯藏井; 2——取下釋热元件盒用的輸送孔道; 3——光学装置; 4——机械手装置.

臂支座,在它上面安装了使起动游离室和控制棒移动的机构(图 8).

控制和防护系統的机构

有五根手动調节棒用来补偿后备反应性,有三根棒用作事故防护,而有一根棒用来自动保持功率水平.

自动調节棒由硼鋼制成, 其余的棒由碳化硼制成. 棒在活性区內作十字形分布. 每根棒

都带有导向管，并装設在释热元件盒之間. 在棒与伺服传动机构之間用繩索传动，它作几組十字形的布置. 这种布置预先决定了把所有棒的伺服传动机构集中到三个独立的安装面积上.

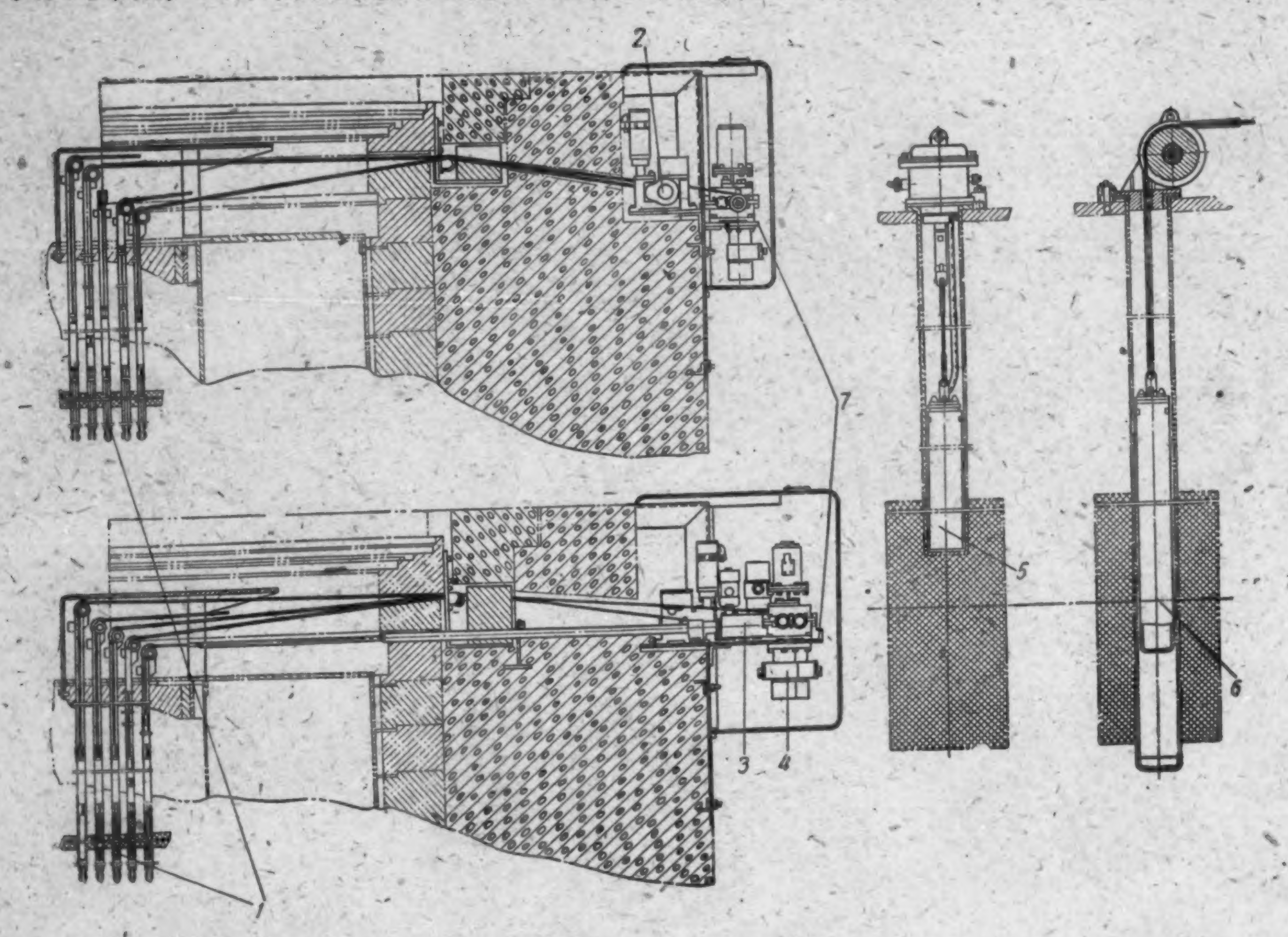


图 8 控制和防护系統的纵剖面图

1——控制系統的棒； 2——事故防护的伺服传动机构； 3——精密調节的伺服传动机构； 4——自动調节的伺服传动机构； 5——固定（工作的）游离室； 6——移动（起动的）游离室； 7——悬臂支座.

这就便于实現活性区的机械換料，并为操縱伺服传动机构和保証繩索传动不受外界影响創造了很好的条件. 棒的位置用位置发送器調节.

为了在反应堆起动和稳定工作时控制它的功率，在反应堆水箱中装設了七个 KHT-52 型的游离室.

三个(起动的)游离室用繩索与三个伺服传动机构連接着，并可在垂直方向移动. 游离室的位置用位置发送器和指示器調节. 四个（工作的）游离室装設在相对于活性区的一定高度处.

为了精确地决定各种材料放入活性区时反应性的变化，設置了带传动机构的精密棒(見图8). 精密棒移动的直綫速度为 2 毫米/秒. 在最上和最下的位置伺服传动机构的电动机用終程微型开关断开，后者装設在位置发送器內.

事故防护棒在发出相应信号的情况下，由于压縮弹簧和本身重量的作用，将在 0.2—0.3 秒內落到下面的位置. 在下降的最后一段，棒用放在伺服传动机构中的摩擦装置制动，这減輕了棒对繩索系統和伺服传动机构的鼓膜装置的撞击作用.

事故防护棒的伺服传动机构和电动机的連接用的是摩擦离合器，它可以防止在頂端开关損坏的情况下繩索传动的断裂和过載. 手动調节的伺服传动机构保証棒有二个运动速度：工

作的(6毫米/秒)和事故的(37 毫米/秒); 自动調节的伺服传动机构在手动控制时棒的运动速度为 6 毫米/秒,而在自动控制时速度可达到 35 毫米/秒.

反应堆的換料系統

为了在反应堆内更换释热元件盒和样品,用了一套机构,它由下列零件組成: 二个旋轉盖板(一大一小)、带传动机构的机械手、盒和样品的輸送孔道、光学装置和照明等. 机械手通过旋轉盖板可装設在任何需操纵的座标点之上. 所有操纵点都有自己的角座标, 并用装設在旋轉盖板机构上的表格标明. 利用机械手可把释热元件盒从活性区移往貯藏井中, 而把輻照样品移往热室中. 换料时不必取下反应堆水箱内的防护盖板. 这使反应堆上部不致被放射性沾污,并使工作人員不致受到照射. 装入新的释热元件盒和样品时可以用同样的机构,同时应用准备装料的附加孔道.

机械手装置包括带把手的长杆、控制把手的传动机构以及升高和降低杆子的传动机构. 装置只是在换料时才安装在小盖板的特殊孔内.

为了用目力观察反应堆的中心部分, 設置了光学装置. 它由防护盒和光学仪器組成. 光学装置只是在必要时才安装在反应堆内. 为了更好地观察释热元件盒的更换情况, 反应堆的中心部分用移动式汽車前灯照明.

挡　　板

防护挡板(见图 4 和图 5)用来开启和关闭九个水平实驗孔道, 孔道只是在依次把五个防护圓盘轉到一定角度后才被挡板完全关住. 为了避免外罩受到直接照射, 挡板的套筒和軸都作成梯級的,而圓盘有不同的直径.

圓盘用电动机通过行星齿輪減速器使其轉动. 当把減速器和电动机断开时, 可以用手来使其轉动. 減速器通过最前面的一个圓盘的齿圈和所有圓盘連接着. 当最前面的圓盘在最后的位置时用微型开关自动地把电动机断开, 并打开相应的信号灯. 为了把准直仪装在前面的圓盘上,在挡板的盖上設置有相应的孔.

所述挡板的結构还用在其它 UPT-1000 和 BBP-2 堆上.

热　　柱

热柱(見图 4 和图 5)由带有槽的小車、五个可拆卸的石墨圓盘和冷却装置所組成,而冷却装置又由八个有冷却水进出系統的菲勒德管子組成. 小車装在軌道上并可以沿軌道移动. 装在鋁制圓柱形筒中的石墨圓盘有一个中心(軸向的)孔和四个垂直的孔. 这些孔是物理試驗用的实驗孔道. 孔道用石墨塞子塞住. 热柱的外面有鑄鉄生物防护层. 其中沿热柱軸綫安有中央孔道的挡板. 挡板有手动传动机构. 热柱的防护层装在軌道上, 并可以用繩和絞車使其移动. 带有防护层的热柱在最終位置处用带信号設备的終程开关使其停止. 它把电动机换到低轉数上,并接通把电动机的电源断开的时間継电器.

在热柱退出后其底部用鑄鉄防护层挡住. 热柱和鑄鉄防护层的移动可以在反应堆大厅中的两个操纵台上远距离控制. 热柱在推入时和鑄鉄防护层在关閉时都直到緩冲器处, 并停在最終位置上,其准确度在 0.1 毫米以下. 这保証了热柱的垂直孔道与反应堆的垂直孔道吻合,水平孔道与鑄鉄防护层的孔道吻合.

貯　藏　井

貯藏井(見图 4 和图 7)用来存放用过的和損坏的释热元件盒. 在箱子的底部安有一块

板，它有60个均匀分布的篩孔，释热元件盒可以放在这些篩孔中．当放置释热元件盒时貯藏井用水下前灯照明．斜輸送管道从反应堆引向貯藏井，释热元件盒沿管道落到装在箱子底部的接收器內．为了避免释热元件盒的外壳在抛下时变形，接收器的壁面和底部都复以橡皮．

在貯藏井的箱子上焊有供給蒸餾水的管子、排水管和控制测量仪表用的管子．蓋在貯藏井上面的鑄鉄防护板有两个孔，通过它們来提取和更换释热元件盒．孔用塞子塞住．箱子的上部空間进行通风．

設备的台架加工

由于根据已完成的設計必須同时制造許多BBP-C型反应堆，而且其中大多数将在国外安装，因此对反应堆的单个部件和构件的台架加工給予很大的注意．

在台架上作了下列工作和发現了下列現象：

1. 检驗了活性区的水力特性；在三个可操縱的区域內（与三个計算用径向释热分布相符合）决定了蒸餾水的速度和流量．观察到用来模拟反应堆压力壳的水力台架有強烈的振动．但是在蒸餾水入口处装了圓錐形噴嘴后上述現象就停止了．

2. 为了供应蒸餾水来冷却棒，在孔道壁上开有許多径向孔，但由于孔的数目不够，所以空气通过控制棒的孔道被吸入第一迴路．迴路中存在空气可能导致功率波动和水泵工作不正常．增加堆控制孔道壁上的孔的数目，即可消除把空气吸入迴路的現象．

3. 調整好密封和测定了水泵的特性．

4. 发現了当活性区中蒸餾水流量超过了1500米^3/时的时候有些释热元件盒的壁面由于盒內静压力的減少而向里面变形．

5. 当把释热元件盒抛入貯藏井时，已对輸送孔道和貯藏井的接收器进行加工．确定了接合处的突緣和輸送孔道的內表面由于凹陷形成的不平坦会导致释热元件盒外表面的变形和擦破．消除这些突緣和不平坦将可避免释热元件盒抛入貯藏井时的損伤．

6. 检驗了机械手装置的工作以及将释热元件盒和样品装入活性区和从活性区取出的工作，这些动作要求經过一定的訓練．

7. 测定了活性区的中子物理参数[1]．

8. 用多次抛下事故棒检驗了事故防护的伺服传动机构的工作．例如，事故防护棒的伺服传动机构在抛下2000次棒时經受住考驗．摩擦装置工作正常．棒最終位置上下在5—12毫米范围內．

9. 在挡板开启时把挡板和圓盘的孔道合在一起进行精确加工．結果孔道吻合的范围在0.05毫米以下．发覚了挡板关閉和开启时有很強的撞击，这些撞击会使圓盘的支承导向接合器变形和損坏．圓盘的平衡可以消除这种現象，但是在这种情况下挡板上要增加很多金属（这将使挡板的防护性能恶化，并使挡板区域內γ本底強度急剧增加）．所以在开启和关閉挡板时只是对中間的二个圓盘作了保持力矩不变的平衡工作．挡板用2000次反复的开启和关閉作了检驗．

反应堆功率的加强

BBP-C反应堆装置的設計考虑了加強功率的可能性．为此在反应堆中設置了中子和γ輻射的加大的生物防护层（940克/厘米^2），同时迴路設备及其布置都有很大的儲备．

为了減少混凝土防护层中的释热量，在骨架装置結构中装有鑄鉄圓环，它有14个冷却防护层用的垂直孔．所有这些在增加释热面积和放热系数α的条件下将可以使反应堆功率加強到

1—2万瓩。

这样两个加強功率的反应堆正处在起动和調整試驗阶段。

参　考　文　献

[1] Н. А. Лазуков, И. Е. Челноков, В. П. Иванов: *Атомная энергия*, **5**. вып. 1 44 (1958).

[2] Ю. Г. Николаев: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1957, стр. 469.

在稠密等离子体中的离子迴旋加速式共振

杜鲍伏依 (Л. В. Дубовой)　許維茨 (О. М. Швец)
奥甫欽尼柯夫 (С. С. Овчинников)

研究了利用离子迴旋加速式共振机制加热等离子体的可能性. 証明在带电粒子密度为 10^7—10^{11}厘米$^{-3}$ 的等离子体中,短区段加热的应用可以使因放电电子沿外磁場力綫运动引起偏振的横离子場的影响减弱. 在电离程度低的等离子体中,观察到高頻場能量轉交給离子的效率随着离子速度的增加而剧烈降低,这个降低是与离子被中性粒子冷却有关的.

引　言

本文中列举了为弄清借助于快交变电磁場加热等离子体的可能性而做的試驗結果. 研究了利用离子迴旋加速式共振加热的机制,由于有高頻場能量直接轉交給离子的可能性,这个机制具有特别的意义. 尽管这个方法看来很簡单,实現的时候却遇到一系列的困难,所以这个所选中的方向的实际意义在很大程度上决定于对这些困难的有成效的克服程度. 这样, 在研究离子迴旋加速式共振区域內氫等离子体性質的时候[1], 肯定了在带电粒子密度不高于 10^8—10^9厘米$^{-3}$的放电中,离子成分有加热到几个千电子伏温度的可能性. 密度进一步增加时,由于出現了与离子电流有关的等离子体自身的場, 加热的效率剧烈地降低. 这些实驗的結果与文献[2]的計算符合;按照它的計算,在迴旋加速式共振区域內,不等式 $\omega_0^2/\omega^2<1$ 的破坏是出現偏振效应的判据,其中 ω_0 为离子的朗繆尔頻率, ω 为加热用发生器的頻率.

按照文献[2]理論的基本前提,在文献[1]的实驗中,給出等离子体几何形态的放电管安放在空間均匀的高頻电場中(一个无限的等离子柱放在沿軸方向均匀的振动場中). 在这种类型的結构中, 对 10^3—10^4 高斯的磁場而言,密度大于 10^9 厘米$^{-3}$ 的等离子体的加热效率很低, 因为由于強烈的趋肤現象的原因,仅仅在等离子柱表面附近的离子与外加高頻場起作用.

文献 [3] 指出了减弱等离子体自身場影响的可能性中的一个. 其方法在于要选择这样一个加热用高頻場的空間分布, 使由横离子电流形成的空間电荷被沿着外磁場力綫运动的电子場所抵消,这种类型的最簡单的系統就是一个在縱磁場中的无限的長圓柱形等离子柱,用一个短的綫圈或电容器在一段上加热[4]. 在加热的一段有限空間中产生的偏振离子場被电子的縱向移动所中和.

按照理論[3], 原来在均匀高頻加热場中能說明等离子体出現偏振現象的区域的判据 $\omega_0^2/\omega^2<1$, 在非均匀場中变成 $\omega_0^2/k^2c^2<1$, 其中 k——波矢量, 它相当于等于加热区段在縱方向長度两倍的波長; c——眞空中的光速. 計算証明:加热段的長度为 10 厘米时, 仅当密度大于 10^{14} 厘米$^{-3}$ 时,才观察到趋肤現象. 这就說明了这种系統的优越性.

本文中列举利用这个原理把高頻能量引入等离子体的各种系統的研究結果.

高頻能源为功率达几十万瓩的发生器. 研究了在离子迴旋加速式共振区域內, 原子态氫吸收高頻能量的效率随等离子体参数和高頻段电极形状而改变的关系. 所得結果与文献[3,5]

的理論作了比較.

装 置 說 明

等离子体由带有振动电子的放电造成. 这种結构的优点在于: 較高的电离度, 輔助設备的簡单,以及較广的工作压力范围.

与一般結构[6]不同的是应用了两个沿放电軸分置的环状阳极的方案. 这样就使阳极間的空間中沒有維持放电的电場,也沒有在等离子体中流动的定态电流的場. 諸如放电管形状、輻射光綫的強度,以及在 700—1900 高斯磁場范围中的放电电流等的等离子体参数,在实驗过程中实际上可保持不变,这就是当磁場改变时等离子体参数为常数的一定保証.

当利用鋁制电极,阳极电压从 0.5 变到 3.5 千伏时, 放电密度可以从 10^7 变到 10^{12} 厘米$^{-3}$. 所有实驗中的放电电流不超过 100—150 毫安.

用鉬玻璃或石英玻璃制成的放电管放在纵磁場中(装置外形見图 1), 在高頻电极的区域

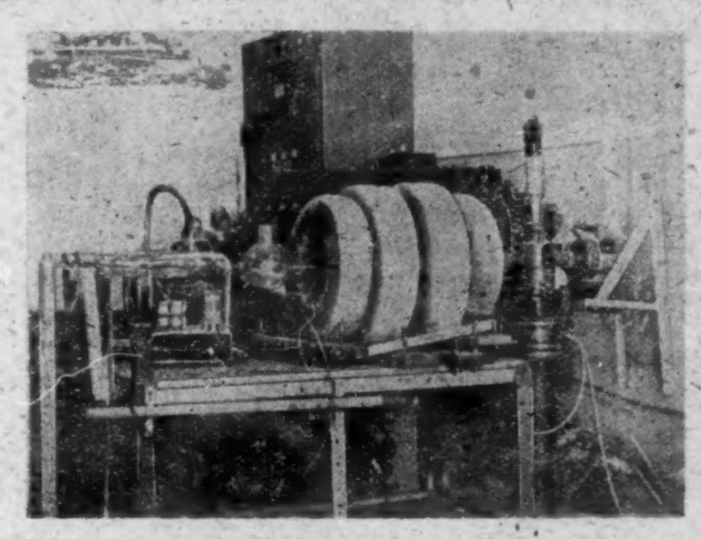


图 1 装 置 的 外 形

中磁場的不均匀性不低于 1%. 引入高頻能量的系統为一套綫圈或电容器. 每个元件是与邻近的元件成反相位接通. 段数可以从一变到四. 图 2 表示放电管及区段綫圈的样子.

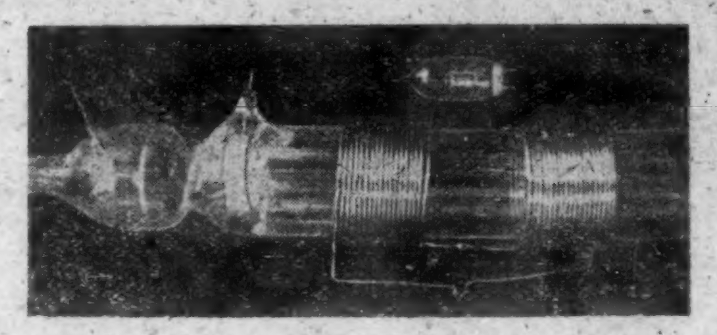


图 2 装有区段綫圈的放电管

装置中的极限真空在用了液体氮冷阱后为 $1\cdot10^{-5}$ 毫米汞柱. 沒有采取使放电管預先去气的任何特别措施. 系統中氫的压力靠鈀放电管的温度調节.

測量部分的綫路見图 3. ГСС-6 或 ГС-27 型訊号发生器与共振迴路相耦合. 后者的电容与自感为高頻能量引入等离子体的元件. 測量是按串联共振的綫路进行的. 与迴路上电压峯值成正比的被探測的訊号, 接到 ЭНО-1 型示波器的垂直偏轉板的直流放大器輸入端上; 水平偏轉板上接入与磁場強度成正比的訊号. 这个綫路可以在发生器頻率从 1.1 到 2.7 兆周范围内,进行对高頻等离子体共振吸收曲綫形状的連續測繪.

磁場用核共振方法校正. 磁場測量的精确度为 0.5%.

被等离子体吸收的功率数值用发生器接在无抗負載上工作时的校正曲綫来确定[4].

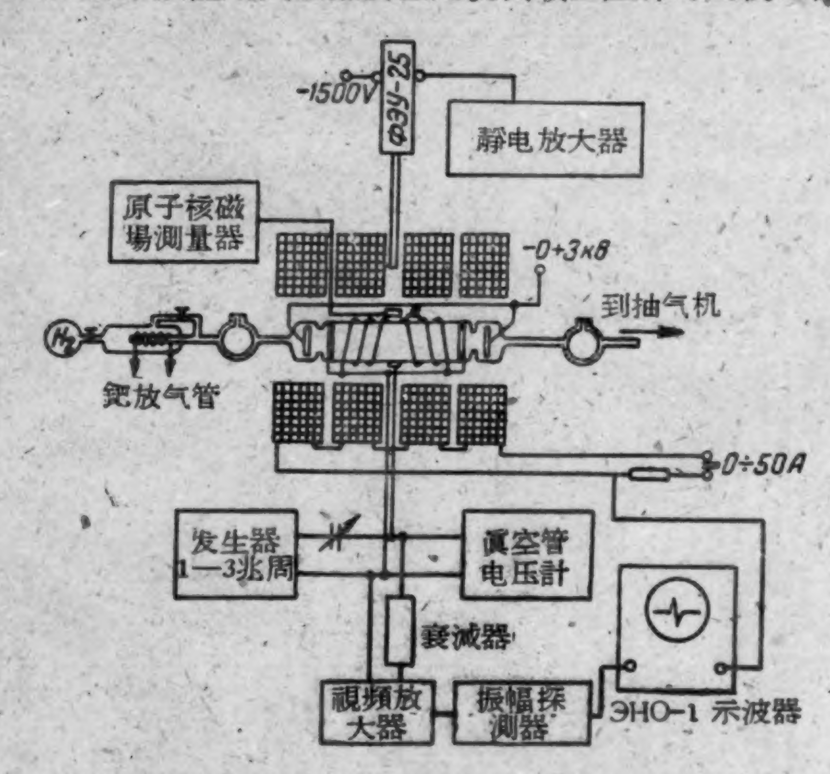


图 3 測量綫路图

图4中列出了利用扫描发生器攝得的迴路共振曲綫在沒有負載与加无抗負載时的示波图，所加的无抗負載相当于发生器轉变功率的效率为 30%. 无負荷时迴路的一般 Q 值等于150—200. 迴路共振曲綫的对称性，以及在測量綫路中沒有寄生共振，都使得容易去除因与等离子

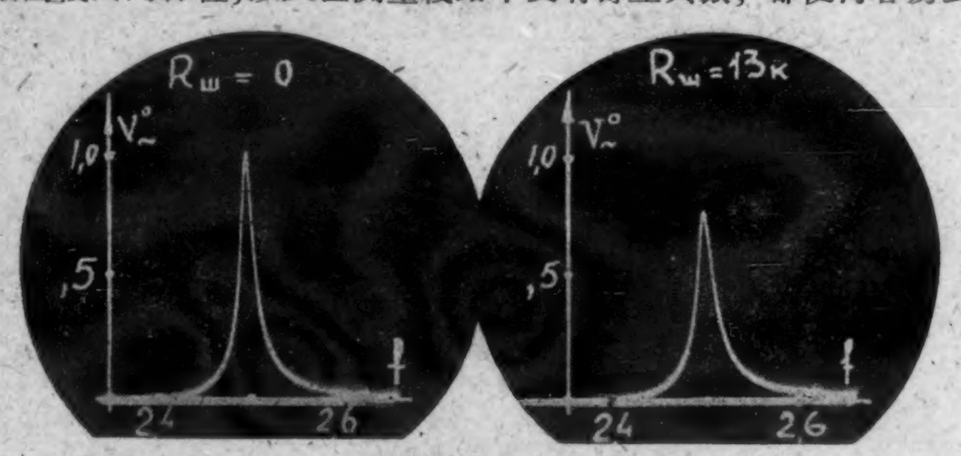


图 4 共振迴路的校正曲綫

体在迴轉共振附近引起的电抗有关的誤差.

当密度 $n<10^{11}$ 厘米$^{-3}$ 时，放电中带电粒子浓度用高頻双探針的方法测定[8]; 当 $n\simeq10^{12}$ 厘米$^{-3}$ 时，由 3 厘米波长高頻訊号的穿透系数的改变来决定[7]. 等离子体密度与放电电流的关系接近于綫性. 在我們的装置結构上，用放电电流的外推的方法可以得到最大密度值$3\cdot10^{12}$ 厘米$^{-3}$.

放电中径向密度的分布是按电子的朗繆尔共振曲綫的半寬度估計的，这些曲綫是用密度測量时用的高頻探針方法描制的. 用这个方法所得到的密度径向不均匀性不超过 15—20%，这与在 4000—6000Å 波长范围內对放电所发出可見光綫的光度測量所得的定性結果相符合. 光学測量也指出在等离子体与眞空間有明显的界綫.

我們所用測量密度的方法，即使当探針訊号中电分量的方向平行于磁場，考慮了放电中电子的眞实温度后，严格說来也仅适用于磁場強度极小的場合．因此測量一定要在不等式 $\omega_{ce}^2/\omega_1^2 \ll 1$ 滿足的場中进行，其中 ω_{ce}——电子的迴旋加速頻率；ω_1——測量用发生器的頻率．对小于 3000 兆周，也就是相当于 $n \gtrsim 10^{11}$ 厘米$^{-3}$ 的頻率，与放电特点有关的最小磁場就使上述不等式不能滿意地得到滿足．所以为了检驗測量，又使用了从等离子体的解电常数在电子迴旋加速式共振区域內与磁場的变化关系(用高頻探針方法測得)来决定电子密度的方法．密度值就用比較所測关系与文献 [7] 中列举的計算来找到．用这个方法所得数据相当滿意地与密度的主要測量結果相一致．

实 驗 結 果

图 5 中表示了一个充有等离子体的迴路上的电压峯値与磁場強度間关系的典型示波图．阴极射綫的垂直偏轉与迴路的 Q 值成正比，水平偏轉与磁場成正比．在相当于离子迴轉頻率与发生器頻率相等的磁場值下，观察到了电压的减小，这与等离子体吸收高頻能量有关．看到了很明显而突出的共振吸收特性．



图 5 有等离子体的迴路上的电压峯値与磁場关系的示波图

进一步把示波图的数据換算成等离子体对发生器的絕对負載值．利用了計算[5]直接結果的簡单方法，可以在我們的条件下比較簡单地使发生器轉交能量給等离子体的效率达到 30—40%．由于在弄清用迴旋加速式共振方法加热离子的可能性时，起主要作用的是共振曲綫半寬度的行为，它直接說明被加速粒子与高頻場的作用时間，所以并未試图进一步提高发生器与等离子体的一致程度．

下面研究一下共振吸收区域随等离子体各种参数的变化．图 6 中列举归一化后的高頻功率值 Φ 在不同的发生器頻率下随磁場而变化的曲綫．在等离子体密度为 10^7—10^{10} 厘米$^{-3}$ 的范围內，測量說明，在相

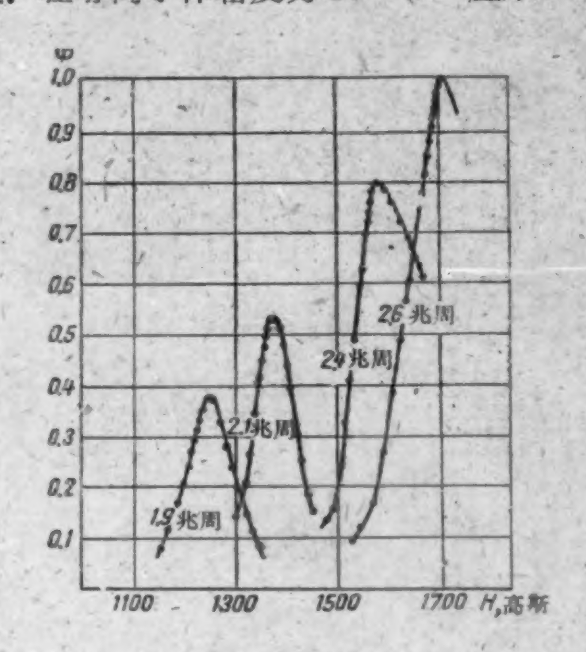


图 6 各种发生器頻率下高頻等离子体吸收的共振曲綫

($p = 6 \cdot 10^{-8}$ 毫米汞柱；$n \simeq 10^{10}$ 厘米$^{-3}$)

当于最大吸收的地方，发生器頻率与原子态氫离子的迴轉頻率恰好相等．共振时候的吸收大

小与发生器頻率的关系接近于綫性.

图7中的可变参数为气体压力. 所得到的在压力大于$3\cdot10^{-3}$毫米汞柱时共振曲綫半寬度$\Delta\omega_{ci}$的关系接近于綫性, 而且可以用式子$\nu_c=\frac{1}{\tau_c}=1.3\cdot10^8p$跟原子态离子与中性粒子碰撞的頻率相比,其中$p$为压力(用毫米汞柱表示); τ_c为两次碰撞間的时間.

密度对高頻吸收功率Φ的影响表示在图8中. 在10^7—10^{11}厘米$^{-3}$的密度范围內所測得共振时的吸收与n的关系接近于綫性. 进一步增加密度时,看到$n\simeq3\cdot10^{11}$厘米$^{-3}$时有飽和点,

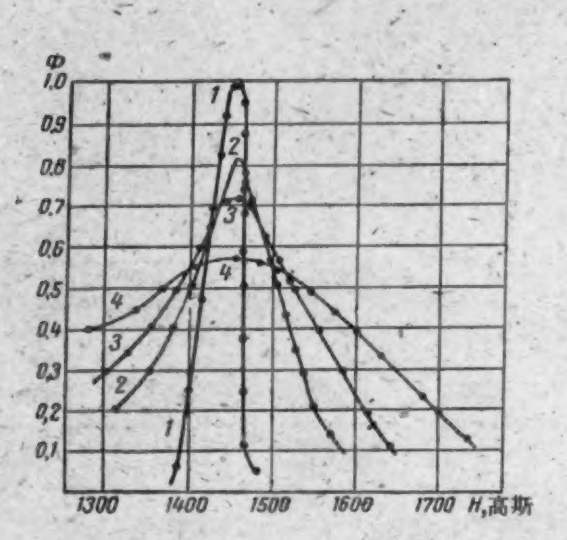


图7　各种压力(毫米汞柱)下的共振吸收曲綫(f=2.2兆周)

1—$p=9\cdot10^{-4}$; 2—$p=5\cdot10^{-3}$; 3—$p=9\cdot10^{-3}$; 4—$p=1.5\cdot10^{-2}$.

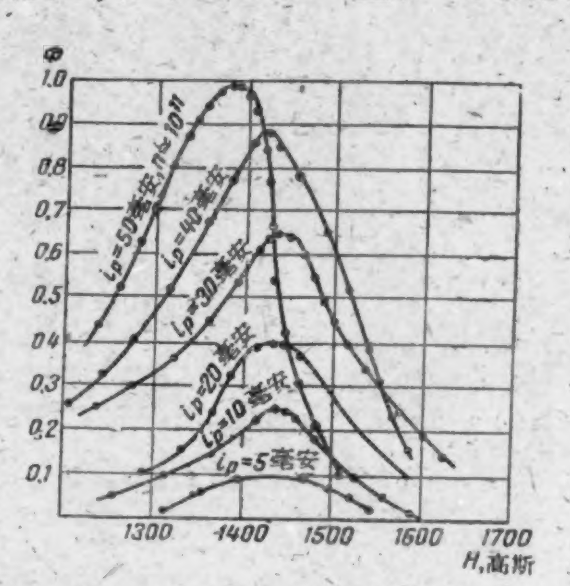


图8　各种等离子体密度下的共振曲綫

($f=2.2$兆周; $p=6\cdot10^{-3}$毫米汞柱)

然后当$n>6\cdot10^{11}$厘米$^{-3}$时又下降(图9). 随着吸收的极大值与密度的非綫性关系出現的同时,主共振峯分裂为两个,其吸收的极大点随着n的增加而单向地向与原来发生器頻率相应的共振磁場值的旁边移动.

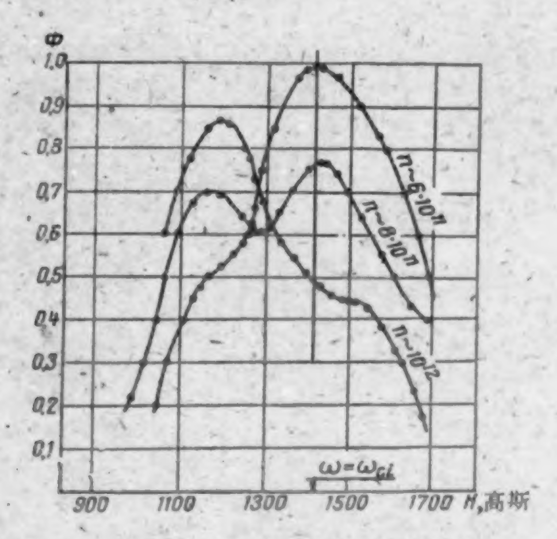


图9　在大密度区域中的吸收曲綫

($f=2.12$兆周; $p=10^{-3}$毫米汞柱)

在同样的密度值下,如把引入高頻能量系統的空間間距減小二分之一,可以使吸收极大点的移动值減至二分之一到三分之一.

結 果 的 討 論

在加热段处沒有不变电場及定态电流場这一件事，以及这里所用放电方式的較均匀的等离子体径向密度分布，都是理論[3,8]中基本前提的相当好的近似。根据这个理論，当不等式 $\omega_0^2/k^2c^2<1$ 满足时，等离子体中的偏振現象就消失了。在迴旋加速器共振区域內的吸收与等离子体密度及发生器頻率的乘积成正比。最大吸收准确地在相当于 ω 与 ω_{ci} 相等的地方。

当密度大时(更正确地說即 $\omega_0^2/k^2c^2\gtrsim 1$ 时)，等离子体中就产生了自身的場，它的典型后果表現在在 $\omega>\omega_{ci}$[2,10] 或 $\omega<\omega_{ci}$[3,5] 的范围中，高頻場有效穿过的区域从相当于 ω 等于 ω_{ci} 的磁場值处移动开来。如果等于 $\omega\omega_0^2/k^2c^2$ 的移动大到超过了迴旋加速式共振半寬度 ΔH 的值，那末离子的加热就停止，而被吸收的功率都化在等离子柱中衰減較弱的各种磁流体力学振动上去了[2,3,5]。

在取得图8,9中列举的曲綫所用的系統($k=\frac{1}{16}$ 厘米$^{-2}$)上，密度的临界值，也就是再高时共振加热的效率就要降低的值等于 $\sim 5\cdot 10^{11}$ 厘米$^{-3}$，在实驗中所見到高頻功率的吸收随 n 从 10^7 增加到 10^{11} 厘米$^{-3}$ 而綫性上升是符合于期望的。所测得的最佳密度值 ($3\cdot 10^{11}$ 厘米$^{-3}$) 也与計算值相一致。

由于在偏振現象中密度的变化相当于加热段基本元件长度平方的改变，所以吸收极大点移动值与 k 的关系定性地与理論相符合这件事也就明白了。

遺憾的是：把测量結果在带电粒子密度大于 10^{11}—10^{12}厘米$^{-3}$时与各种 k 值的定量比較遇到出現庫仑作用的困难，后者仅当加热了的等离子体中离子能量不低于几个电子伏时才可能消除。要进行 k 值小的实驗，必須要用带有強磁場的大容积。

k 值很不相近的数据可以从比較这里列举的实驗結果与文献[1]的結果而得到；文献[1]中研究了相当于 $k=0$ 的場合，并在不等式 $\omega_0^2/\omega^2<1$ 不满足时观察到了伴随着等离子体的偏振的效果(高頻功率的吸收随着密度增加而綫性上升的关系的破坏，出現了共振曲綫半寬度与吸收的极大位置随密度而变的現象)。同时，在找寻趋肤效应的时候，本文在 $\omega_0^2/\omega^2\simeq 1(\omega_0^2/k^2c^2\simeq 10^{-8})$ 的条件下，沒有发現絲毫显著的与按文献[3]所期待的結果的偏离，而所提过的偏振效果在不等式 $\omega_0^2/k^2c^2<1$ 被破坏时才出現 ($\omega_0^2/\omega^2\simeq 10^4$ 时)。所以，尽管在这些研究系統中沒有高頻場穿入等离子体的直接証明[1)]，底下一些結果都有利于建立带有減弱了的趋肤效应的結构的可能性，它們是：出現等离子体偏振效果时密度的测量值与計算值很好符合；吸收极大点随 n 的增加而移动，而不是象一般仅加热具有密度連續变化的边界层时观察到的极大点变模糊。

所假定在完全抵消的場合下，等离子体外部与內部場的相等可以对离子加热程度进行估計。按照文献[11]，当带电粒子在交叉的不变磁場 H 与交变的电場 ($E=E_0\sin(\omega t)$) 中运动时，离子在准确的共振条件下，从开始加速 t 秒后，将沿半径为 $R(t)=\frac{E_0}{2H}$ 的軌道轉动。等于 τ_c (两次接連碰撞間离子与高頻場相互作用的时間) 的 t 值可以从 $\Delta\omega\tau_c=1$ 关系的实驗数据中求到[9]。这样所测量得到的 $HR(t)$ 乘积可以作为离子在加热过程中获得能量多少的量度。在大部分实驗中所采用的典型电場強度为 0.2 伏/厘米时，离子由于与探針訊号 ($\sim 10^{-2}$

1) 想用探針直接测量高頻場強度径向分布的企图都未成功，因为探針上濺出的大量杂质使放电的形态与高頻性质都受到了剧烈的畸变。

电子伏)相互作用而得到的能量增长值較放电中粒子的热能小,因而测量过程对等离子体的扰动就并不重要.

为了弄清增加离子能量的可能性,测出了离子寿命M(与共振寬度为 5% 时的寿命相比)与由平面电容器所造成电場強度E的关系曲綫(图 10).对离子在加热过程中获得的速度增长$v_\perp$,与对相当于大部分一般放电中典型的温度 300°K 的热速度 v_0 的估計証明,当 $M(E)$ 曲綫在 $E\simeq0.3$ 伏/厘米处折下的时候,$v_\perp\simeq v_0$. 根据文献[12],当 $v_\perp > v_0$ 时,τ_c 値与$\sqrt{E}$成反比.不过在 $E\simeq1$ 伏/厘米区域处,$M(E)$ 的下降陡度不能仅用这点来解释. $v_\perp > v_0$ 时 $M(E)$ 的較大变化可以用相似于文献[13]中假定的,而且与等离子体总是要把在加热过程中产生的 $v_\perp > v_0$ 型的各向不均匀性拉平的傾向有关的过程来解释. 与此有关的縱向速度分量 $v_{||}\simeq v_0$ 向 $v_{||}\simeq v_\perp > v_0$ 的增长,使得必須考虑由于在加速段区域中($\tau_{||}\simeq1/kv_{||}$)离子逗留

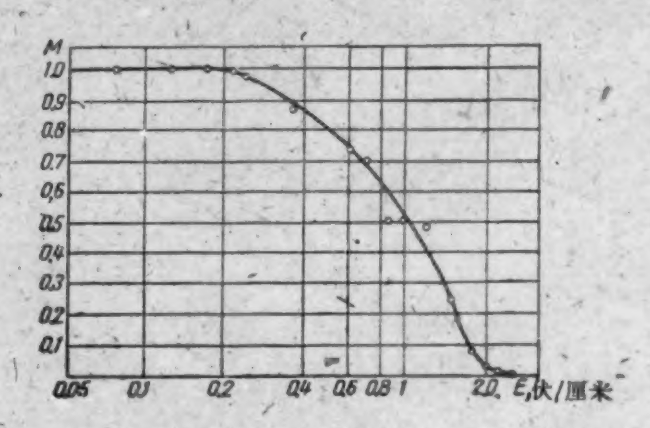


图 10 电場强度对离子与高頻場作用时間的影响

时間 $\tau_{||}$ 的減小所引起的 $\tau_c(E)$ 的补充降低.

当 $v_\perp > v_0$ 时,在 $v_{||}\simeq v_\perp$ 的假定下,$\tau_c\sim1/\sqrt{E}$关系的考虑导致定量地說明所看到的$M(E)$关系的可能性.同时,在离子能动性理論[12]中充分研究过的、两次碰撞間时間的关系 $\tau_c\simeq1/\sqrt{E}$ 与离子及中性粒子間強烈的能量交换有关.因此,当等离子体电离程度不太高时,磁場所不能約束的中性粒子将把大量能量带到放电室壁上.

結 論

利用空間間隔系統引入高頻能量到离子迴旋加速式共振区域,对密度为10^7—10^{11}厘米$^{-3}$的冷等离子体的实驗結果,与理論符合得很好.这个理論預言,在完全电离的加热了的等离子体的場合下,密度一直到 10^{13}—10^{14} 厘米$^{-3}$ 为止,有可能降低偏振的自身場对交变場穿透的影响.

实驗証明:为了用离子迴旋加速式共振方法成功地加热等离子体,必須要使等离子体中含有最少的中性粒子.

在离子迴轉共振区域的等离子体行为与粒子密度及其加热程度的关系,可以利用来設計气体放电性质研究的方法.

为了西晶尔尼柯夫(К. Д. Синельников)对本工作所表示的关心及宝貴的討論,作者謹致謝意.

参 考 文 献

[1] Л. В. Дубовой и др: Доклад № 2211, представленный на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958).

[2] K. Kerper. Z: *Naturforsch.*, **12a**, 815 (1957).

[3] T. Stix: *Phys. Rev.*, **106**, 1146 (1957).

[4] Стикс, Палладино: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Избр. докл. иностранных ученых. Т. 1—Физика горячей плазмы и термоядерные реакции. М., Атомиздат, 1959, стр. 242.
[5] Стикс: Там же, стр. 254.
[6] Э. М. Рейхрудель, Г. В. Смирницкая: Изв. высш. учеб. заведений. *Радиофизика*, **2**, 36 (1958).
[7] Уортон, Говард, Гейнц: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Избр. докл. иностранных ученых. Т. 1—Физика горячей плазмы и термоядерные реакции. М., Атомиздат, 1959, стр. 675.
[8] T. Yeung, T. Seyers: *Proc. Phys. Soc.*, **451B**, 663 (1957).
[9] C. Kelley, H. Margenau, S. Brown: *Phys. Rev.*, **108**, 1367 (1957).
[10] P. Doyle, J. Neufeld: *Phys. Fluids*, **2**, 390 (1959).
[11] J. Amoignon, G. Rommel: *Vide*, **12**, 377 (1957).
[12] L. Loeb: Basic Processes of Gaseous Electronics, Chapter I. Berkeley and Los Angeles, University of California Press., 1955.
[13] А. А. Веденов, Р. З. Сагдеев: Сб. «Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций», т. III. М., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 273.

少量鈾、錼、鈈和鋂的电解分离

沙馬尔采娃 (А. Г. Самарцева)

研究元素的原子核性质和检驗同位素的組成必須制备均匀的薄膜层；在超鈾元素分析化学中定量分离这些元素是很重要的，包括指示量在內。本文敍述了从酸性溶液中定量分离痕量鈾、錼、鈈和鋂的新的电解方法。指出：电解过程中元素的产額与电解质的阴离子无关，而首先由溶液的 pH 值决定。在存在各种金属的混合物中，拟定了定量电解分离鈈的条件；在草酸电解质中除去了鉄的影响。

从水溶液中电解分离超鈾元素是在研究原子核性质或某放射性元素的同位素組分时制备均匀薄膜层的良好方法。此外，这种方法成功地被用于超鈾元素分析化学中，因为它能定量和无載体分离指明的元素，甚至溶液中超鈾元素为指示量的情况。

以前，我們曾拟定了定量分离鈾[1]，以及从无机酸中分离超鈾元素[2]的方法。本文是这些研究工作的継續。

鈾、錼、鈈和鋂在普通的电解网上分离，它是由不大的鉑杯(阳极)和工作面积为 1 平方厘米的长形的鉑片(阴极)組成的。这样的网可以用任意pH值的电解质工作，由壁上的吸附引起的放射性元素的損耗不大，这一点可以用玻璃的或树脂玻璃的电解槽观察到。溶液用 60—80 轉/分轉速的阴极攪拌。放射性元素的电解分离在鉑阴极的两面同时发生；电极上的 α 放射性用专門的电离室测量[3]。

本文曾用了同位素 U^{233}、Np^{237}、Pu^{239}、Am^{241}。借助于电离室和多道振幅分析器指出：Pu^{239} 含 0.7—0.9% 杂质(Am^{241} 和 Pu^{238})，Np^{237}—~2.0% Pu^{239}。在同位素 Am^{241} 中沒有发現任何杂质；U^{233} 沒有分析。可称量的元素的氫氧化物溶解在酸中作为电解质。研究原始溶液中元素的价态，指出：U^{233} 处于六价态；Np^{237} 是由 Np(VI)—10.2%，Np(V)—~90%，Np(IV)—<1% 組成的；Pu^{239} 是由 Pu(VI)—14.3%，Pu(IV)—56.1%，Pu(III)—28.9% 組成的；Am^{241} 处于三价态。

用氫离子浓度为 10^{-1}—10^{-4} 摩尔的硝酸、盐酸、高氯酸、硫酸和草酸和氫离子浓度为 10^{-5}—10^{-9} 摩尔的緩冲溶液作为电解质。对下列电解质中放射性同位素的克分子浓度进行了研究：U^{233}—1.3×10^{-8}；Np^{237}—$(0.2—1.2)\times10^{-6}$；Pu^{239}—4.1×10^{-9}；Am^{241}—1.4×10^{-10}。

实驗数据以表格和曲綫的形式表出，所有的数据是三到五次实驗結果的平均值。

从弱酸溶液中电解分离鈾、錼、鈈和鋂

关于元素产額与硝酸溶液的 pH 值、电流密度和实驗延續时間之間关系的实驗数据分别示于图 1—3 中。

从图 1 可以看出，鈾的最大产額出現在 pH = 2.5，而錼和鈈——在 pH = 2.0 的地方。当 pH>4 时，鈾的产額剧烈地減少，显然証明鈾水解比錼和鈈更多。在这种条件下，錼和鈈多半处于五价态，因此 pH 值等于 7—8 以前不被水解[4]。

图 3 中可看出鈾、錼和鈈的电解分离速度差别很大。这显然說明不仅仅是每个元素的电解还原反应机构不同，而且在沿阴极的区域作为第一步还原的中間产物的五价离子的稳定性

也不同．按文献[5]的数据，当 pH = 2.5，在滴汞阴极上铀开始被还原到五价态：

$$UO_2^{++} + e^- \rightarrow UO_2^+,$$

而然后歧化：

$$2U(V) \rightarrow U(IV) + U(VI).$$

由于多次的氧化还原反应，铀在阴极上析出的速度变得较小．镎在原始溶液中处于稳定的五价态，在阴极上立即还原到四价．镎的电解分离速度基本上由离子移动来测定；它为铀析出速度的 20 倍（見图 3）．

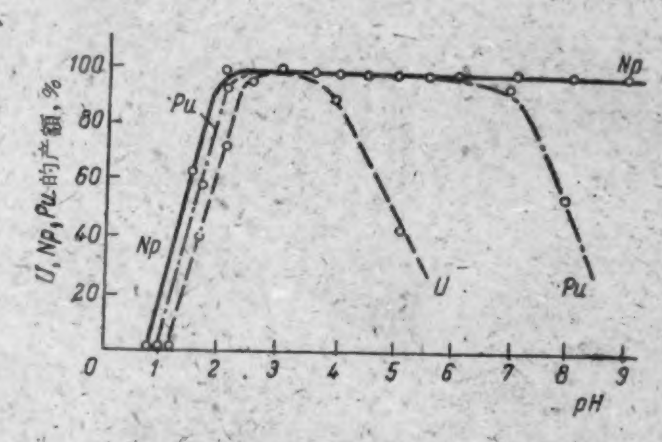


图 1　元素产额与溶液 pH 的关系

阴极电流密度为 100 毫安/厘米²，电解延續时間为 2 小时．

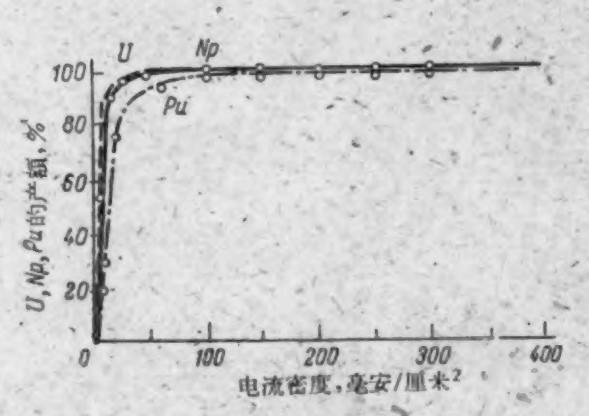


图 2　元素产额与电流密度的关系

pH = 3，电解延續时間为 2 小时．

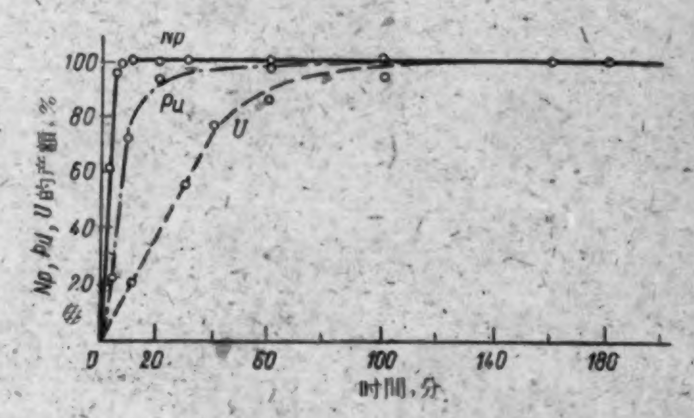


图 3　元素产額与电解延續时間的关系

pH = 3，电流密度为 100 毫安/厘米²．

由于钚在原始溶液中基本上处于三价或四价态，它起初被氧化到五价，然后就在阴极析出的片刻，重新被还原到四价．从图 1 可看出：钚的电解过程实际上被氧化到 Pu(V)，因为钚在 pH = 7 的溶液中不水解，就是在同样条件下如象 Np(V) 一样．

所得結果可以选择最佳的定量电解分离钍、铀、镎、钚和镅的条件（表 1）．

表 1　从硝酸溶液中电解分离钍、铀、镎、钚和镅的最佳条件

元　素	溶液体积，毫升	pH	电流密度，毫安/厘米²	电解延續时間，分	产　額，%
Th(Io)	20	2.5	100	120	99.8
U	20	2.5	100	120	100.1
Np	80	3	250	10	100.4
Pu	20	3	100	120	100.0
Am	20	3	100	5	99.7

指示量钍、铀、镎、钚和镅大致在同样的电解条件下定量沉积在铂阴极上．

从各种无机酸溶液中电解分离超铀元素的实驗数据，列于表2.

表2 从各种酸的溶液中电解分离铀、镎、钚和镅

（pH等于2—3，电流密度为100毫安/厘米²）

实驗次数	酸	元素			
		U	Np	Pu	Am
5	H_2SO_4	100.1	99.8	97.8	99.2
13	HCl	100.0	100.0	98.9	98.9
7	$HClO_4$	100.6	100.2	100.1	99.7
50	HNO_3	100.0	100.2	100.6	100.2
28	$H_2C_2O_4$	100.2	98.9	99.7	98.7

如表中所見，超铀元素从所研究的溶液中定量地析出，因此元素产額不取决于电解質的阴离子特性，而強烈地由氫离子的浓度决定.

在图4中画出了从盐酸和高氯酸中电解分离钚的动力学数据. 使用硝酸作为电解質較好，而盐酸或高氯酸不好.

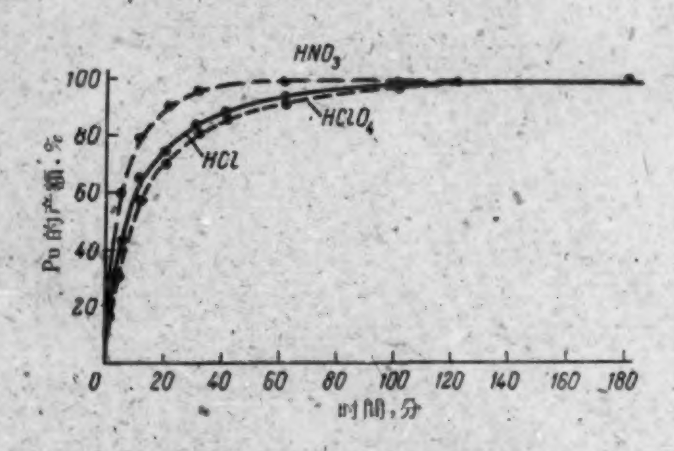


图4 钚的产額与实驗延續时間的关系

pH＝3，电流密度为100毫安/厘米².

从0.1摩尔硝酸溶液中电解分离铀、镎和钚

因为实际上常常不使用低的氫离子浓度（0.01—0.001摩尔），我們曾試图从更酸的溶液中寻找电解分离超铀元素的条件. 以前得出：随着氫离子浓度的增加必須增加电流密度. 但是在这方面的第一次試驗沒有成功，因为在很大的电流密度区間（400—3000毫安/厘米²）內电解析出镎和钚很少；铀在电流密度为700—1000毫安/厘米²时定量析出.

指出：如果钚的原始溶液，用少量浓硝酸蒸发至干三—四次（即使钚轉化为四价态），然后，殘渣溶解在20毫升的0.1摩尔硝酸溶液中，再进行电解，結果钚从0.1摩尔硝酸溶液中定量地析出. 铀、钚和镎的产額与电流密度和实驗延續时間的关系，对0.1摩尔硝酸溶液的实驗数据分别引于图5和图6中.

铀、镎和钚电解分离速度的差別，可能原因是在原始溶液中元素呈不同的价态，因而，它們的电解还原反应机构也不同.

根据得到的数据，曾从0.1摩尔的硝酸溶液中选择了电解分离铀、镎和钚的最佳条件：1）阴极上的电流密度为750—1000毫安/厘米²；2）实驗延續时間为2—3小时；3）溶液体积为20—40毫升.

进一步在存在其他离子的电解分离超鈾元素中我們运用了这些条件.

存在其它离子的电解分离鈈

从碱的、弱酸的、尤其是从酒精-丙酮-水溶液中电解分离超鈾元素所有主要的方法只适合于非常純的溶液. 实际上,溶液中常常含有大量的其它元素. 从这种溶液中电解分离鈈,只析出少量或者完全不被覚察到. 从碱溶液中电解时,沉淀下鉄和鋁的氫氧化物,它們同时带下放射性元素. 在弱酸溶液电解过程中,随着沉淀的下降其它元素进行着水解,而在酒精-丙酮-水溶液中鈈本身被水解,同样进入沉淀.

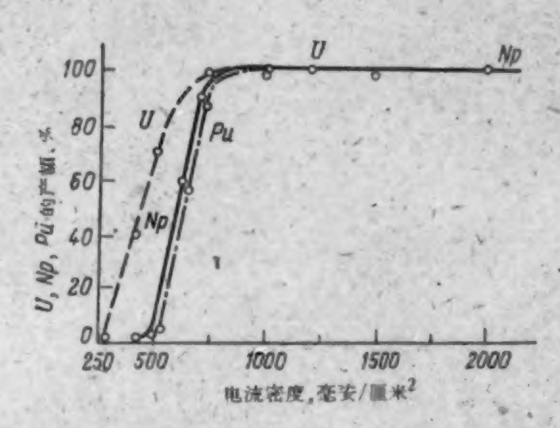


图 5 元素的产額与电流密度的关系
0.1 摩尔硝酸溶液,电解延續时間为 2 小时.

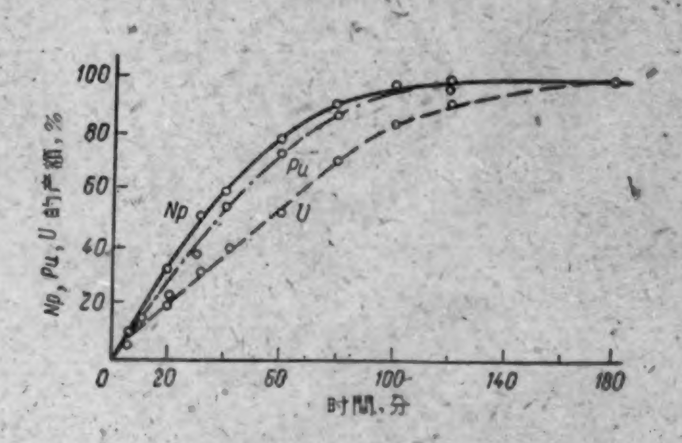


图 6 元素产額与电解延續时間的关系
0.1 摩尔硝酸溶液,电流密度 1000 毫安/厘米².

我們試找从含有 10 毫克(总量)鉄、鋁、鑭、鋇、鉻、錳、鈣、鎂、鉀、鈉的原始溶液中直接定量电解分离鈈的条件. 从所有列举的元素中,电解时鈈与鉄常混在一起. 使用草酸来絡合鉄,草酸溶液对鈈来説是同样好的电解质. 为了提高电解质的氫离子浓度,实験在 0.1 当量浓度硝酸溶液中进行.

为了寻找在其它离子存在时从草酸和硝酸的混合液中电解分离鈈的最佳条件,首先弄清楚草酸浓度改变对鈈产額的影响是很重要的. 所得結果示于图 7.

很有趣的,从二个混合酸中析出鈈的定量产額与同样草酸浓度不存在硝酸时的一样. 因此可以假定硝酸不直接参与阴极上电解分离鈈的机构. 文献[6]的数据同样証实,在上述实験条件下鈈应当处于带正离子的絡合状态 $PuC_2O_4^{++}$.

然后在适系統中研究了鈈产額与硝酸浓度的关系. 結果示于图8. 由图指出:从二个混合酸中电解分离鈈能在一个很寬的 pH 值区間内做到. pH 等于 1.2—1.4 时結果較好. 图 8 上

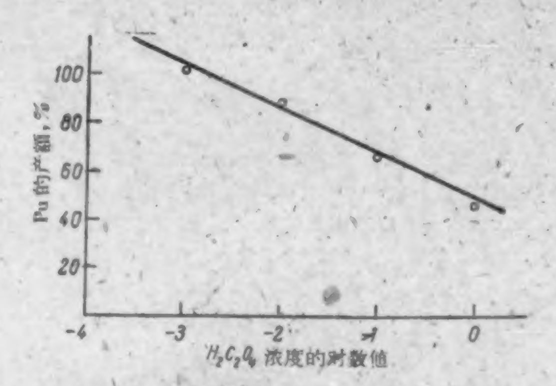


图 7 鈈产額与草酸浓度的关系
0.1摩尔硝酸溶液,电流密度为 1000 毫安/厘米²,电解延續时間为 2 小时.

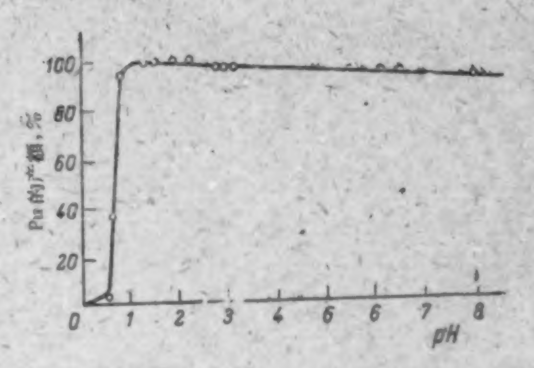


图 8 鈈产額与硝酸浓度的关系
0.002 摩尔草酸溶液,电解密度为 1000 毫安/厘米²,电解延續时間为 2 小时.

pH = 0.8 时鈈产额剧烈地改变説明：在給定条件下取硝酸浓度大于 0.25 摩尔定量电解分离鈈是不适宜的。

还研究了鈈产額与阴极电流密度的关系。結果示于图 9．从图上可見：在电流密度为 1000—2000 毫安/厘米^2 条件下鈈产額不变。

关于电解延續时間对鈈产額的影响的数据示于图 10，由图可見，电解分离鈈的过程通常經历 1.5—2 小时結束。

研究从草酸和硝酸的混合物中电解分离鈈可以选择下列最佳条件：1)草酸浓度为0.002摩尔；2)硝酸浓度为 0.125摩尔；3)溶液pH等于 1.3；4)阴极电流密度为 1000毫安/厘米^2；5)溶液体积为 20—40 毫升；6)电解延續时間为 1.5—2 小时。

实驗經历下列步驟：移等分原始溶液 0.1—5 毫升到鉑杯里，在水浴上蒸发至干。沉淀用浓硝酸处理 2-3 次；然后加入 0.1 毫升 1 摩尔草酸溶液和 10 毫升 0.5 摩尔硝酸溶液，仍旧放在水浴上玻璃鐘罩下面 10 到 15 分鐘(到干的殘渣完全溶解)；再注入 30 毫升蒸餾水到杯中，按所述条件进行电解。

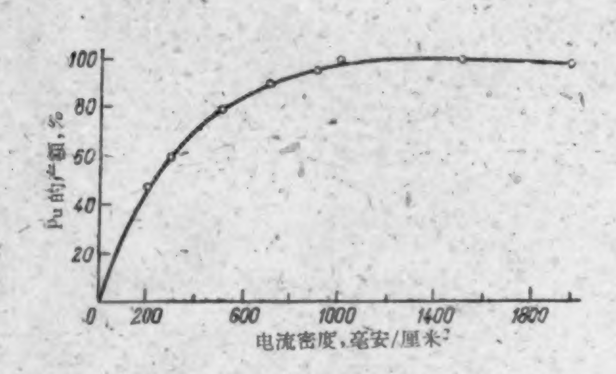


图 9 鈈产額与电流密度的关系
0.1 摩尔的硝酸和 0.002 摩尔的草酸溶液；
pH = 1.3；电解延續时間为 2 小时。

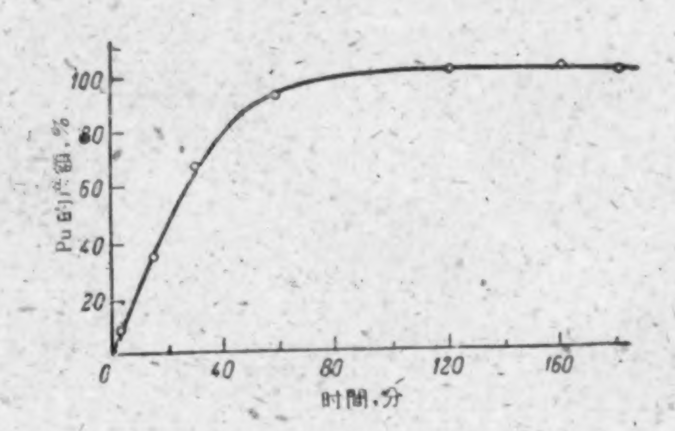


图 10 鈈产額与电解延續时間的关系
0.1 摩尔硝酸和 0.002 摩尔草酸的溶液；
pH=1.3；电流密度为1000毫安/厘米^2。

表 3 存在其它离子，从草酸和硝酸混合物中电解分离鈈

$H_2C_2O_4$，摩尔	pH	Pu	
		取样，脉冲/分	产 額，%
0.002	1.3	2020	98.9
0.002	1.3	2020	99.2
0.002	1.3	2020	99.0
0.002	1.3	2020	100.0
0.002	1.3	2020	99.4
0.002	1.3	2020	100.6
0.002	1.3	2020	100.2
			平 均 = 99.9 ± 0.7%

实現所有上述条件，从表 3 可見：得到了定量电解分离鈈．所引的結果指出：在存在其它离子下，电解分离鈈，实驗的重复性完全令人滿意．所以这个方法可以用到分析化学中，因为它可以比化学方法定量测定溶液中的鈈要精确且快．在同样条件下，鈾和鐠同样可以定量地电解析出．这里所有的其它离子仍留在溶液里。

从已經説明的可以得出下列結論：

1）拟定了从硝酸、硫酸、盐酸、高氯酸和草酸溶液中，在电解质氢离子浓度为 10^{-3} 摩尔时定量电解分离鈾、鐐、鈈和鋂的方法。

2）指出：肯定电解分离鈾、鐐、鈈和鋂的要素不是电解质的阴离子，而是氢离子的浓度。

3）研究了从氢离子浓度为 10^{-3} 摩尔和 10^{-1} 摩尔的硝酸溶液中，电解分离鈈的动力学。

4）研究了从氢离子浓度为 10^{-3} 摩尔盐酸和高氯酸溶液中，电解分离鈈的动力学。

5）研究了鈾、鐐和鈈的产额与阴极电流密度以及与电解质 pH 的关系。

6）提出存在其它离子时电解分离鈈的分析方法，这方法可以定量地和无载体地从原始溶液中直接析出指示量的鈈。

7）这种电解分离超鈾元素的方法可以用到上述元素的分析化学中，以及制图标准源和靶子。

参 考 文 献

[1] А. Г. Самарцева: Тр. Радиевого ин-та, 7, 137 (1956).

[2] А. Г. Самарцева: Сб. «Изотопы и излучения в химии». М., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 318.

[3] С. С. Бугорков, Л. З. Малкин, К. А. Петржак, В. А. Яковлев, М. И. Якунин: Тр. Радиевого ин-та, 9, 214 (1958).

[4] L. Gevantman, C. Kraus: The Transuranium Elements, Divis. IV, Vol. 14B, Part. I. New York, 1949, p 500.

[5] C. Kraus, F. Nelson, J. Johonson: *J. Amer. Chem. Soc.*, 71, No. 7, 2510 (1947).

[6] W. Reas. The Transuranium Elements, Divis. IV, Vol. 14B, Part. I. New York, 1949, P. 423.

鈾的氧化物在酸性介質中溶解时氧化-还原过程作用的研究

涅斯米揚諾娃 (Г. М. Несмеянова),
阿尔赫查斯維里 (Г. М. Алхазашвили)

在提取鈾时，矿石組份的氧化度具有决定的意义. 由于鈾轉移到溶液中是由各种不同的化学过程所形成，同时，随着包含在矿石中杂質的存在而复杂化，因此必須研究鈾的氧化作用的規律性，以及在鈾矿石浸析过程中轉移到溶液中的各种不同的化合物的影响.

本文列举了在酸性介質中八氧化三鈾氧化和溶解过程的研究結果，以及二价鉄的化合物对这一过程的影响. 首先对各种不同的氧化剂对鈾的氧化能力給以比較. 指出，四价鈾的氧化作用，不只决定于正常的氧化-还原电位. 所得到的結果表明，当溶液中存在大量的鉄离子时，用低浓度硝酸和硫酸的混合物提取鈾不完全的原因，是与 Fe^{2+}, SO_4^{2-} 和 NO_3^- 离子間的絡合物形成过程有关.

如所周知，鈾的非氧化矿物，在弱的矿物酸和碳酸鈉溶液中，溶解不好. 由于这个緣故，为了尽最大可能使鈾轉移到溶液中去，必須采用各种不同的氧化剂.

鈾的溶解是由各种不同的化学过程所形成，同时随着包含在矿石中多种杂質的存在而复杂化. 因此，不仅研究鈾的氧化作用的規律性是必須的，而且研究用酸来浸析鈾矿石时，溶解到溶液中的各种化合物对氧化过程的影响，也是必須的.

这些問題的研究，不仅能在理論上論証从矿石中提取鈾所进行的过程，而且能够預先决定它的強化途径.

近年来出現了大量的工作. 在这些工作中研究了各种不同的因素对鈾的溶解程度的影响. 在文献[1]中列举了实驗的延續时間、温度、酸的浓度和粒子大小对提取鈾的关系的数据. 所列举的数据指出，在酸性瀝取时采用氧化剂，能够改善溶液中鈾的提取. 文献[2]中曾經指出，25%硝酸和75%硫酸混合物的总浓度从 13.5 克/升改变至 107.6 克/升，提取到溶液中的鈾从 61—80% 提高至 82—97%. 有这样一个幅度是与粒子大小和攪拌时間有关的. 在硫酸浓度为 16.5 克/升时，将氯酸鉀、高錳酸鉀、重鉻酸鈉和其他氧化剂引入反应混合物，能增加溶液中鈾的提取. 同时发現，有三价鉄离子存在时，不附加氧化剂亦能保証鈾很好溶解. 在上述文献中以及在文献[3,4]中，引述了各种不同因素对从矿石中提取鈾的影响的研究結果. 由于矿石包括一系列矿物的絡合物，因此，将鈾提取到溶液中的数据，不只反映了瀝取因素的影响(浓度，温度等等)，而且反映了在矿石中所包含的各种不同杂質的影响.

为了研究試剂浓度、温度和过程延續时間对鈾的溶解的影响，我們用鈾的氧化物进行了一系列实驗. 以硫酸作为溶剂，用硝酸，氯酸鉀，二氧化錳，高錳酸鉀和高鉄盐作为氧化剂，在空气恆温浴中进行实驗. 秤量鈾的氧化物重 2 克，粒度为 0.15 毫米. 試剂消耗量相应于化学計算量. 将鈾的氧化物和各种不同浓度带氧化剂的硫酸溶液放入一玻璃試管，将試管固定在一个圓盘上，溶解时，圓盘以 200 轉/分的速度轉动. 四价和六价鈾含量的测定是根据文献[5,6]所叙述的方法进行的.

图 1 引述了鈾的氧化物在硫酸中溶解和硫酸浓度的关系的实驗結果．在硫酸浓度为 150 克/升的溶液中，温度 $t=90°C$ 和实驗延續时間 $\tau=3$ 小时时，二氧化鈾几乎不溶解．这可能是因为二氧化鈾的生成热十分高的緣故（270 仟卡/克分子）．在同样条件下八氧化三鈾在很大程度上溶解到溶液中去．

文献[2]認为比例为硝酸（25 %）和硫酸（75 %）用来溶解八氧化三鈾是最适宜的．根据反应方程式：

$$3U_3O_8 + 2HNO_3 + 9H_2SO_4 = 9UO_2SO_4 + 2NO + 10H_2O$$

$$3UO_2 + 2HNO_3 + 3H_2SO_4 = 3UO_2SO_4 + 2NO + 4H_2O.$$

为了全部溶解八氧化三鈾，硝酸和硫酸混合物的比例应为：12.5 % HNO_3 和 87.5 % H_2SO_4．而对于二氧化鈾应为30 % HNO_3 和 70 % H_2SO_4．在較大范围內改变硝酸和硫酸的比例时，我們指出，当 $HNO_3 : H_2SO_4 = 12.5 : 87.5$ 时，观察到八氧化三鈾中鈾的最大氧化作用．在 $t=90°C$ 总量为 100 % 时，进一步提高硫酸中的硝酸含量，并不影响鈾的氧化作用．对于二氧化鈾的全部溶解和氧化，相应的比例为 $HNO_3 : H_2SO_4 = 30 : 70$，恰好为化学計算量．在 $t=20°C$ 时，对八氧化三鈾观察到相似的情景，但对二氧化鈾則不然，这是因为，在低温时不仅是二氧化鈾更难氧化，而且是由于硝酸的氧化性质弱的緣故．在同样条件下（恆定的温度和过程延續时間），带有不同氧化剂的硫酸起始浓度的影响是不同的（图 3）．在 $t=20°C$，用高錳酸鉀，氯酸鉀和硝酸作氧化剂，在硫酸浓度从 5 克/升增至 100 克/升时，对八氧化三鈾中鈾的氧化影响很小．然而在 $t=90°C$ 时，用硝酸作氧化剂，硫酸浓度在鈾的氧化过程中起着决定性的作用．在硫酸的浓度为 100 克/升时，有氧化剂-硝酸和高鉄盐存在时，观察到八氧化三鈾全部溶解．在有二氧化錳存在时，硫酸浓度的改变在 50—150 克/升范围內，对鈾的氧化影响不显著．

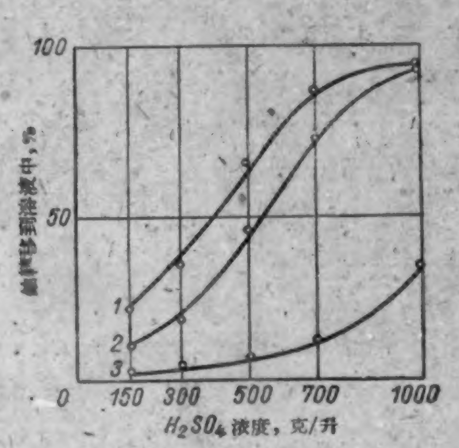


图 1　硫酸浓度对溶解的影响
1. 从八氧化三鈾中溶解的六价鈾；
2. 从八氧化三鈾中溶解的四价鈾；
3. 从二氧化鈾中溶解的四价鈾．

由于在硫酸浓度为 100 克/升时，只有采用高鉄的化合物和硝酸作为氧化剂，才能观察到鈾的全部氧化和溶解．因此我們研究了过程延續时間对八氧化三鈾溶解的影响（图 4）．在 $t=20°C$ 时，甚至延續38小时，我們所采用的氧化剂中亦沒有一种氧化剂能够使鈾全部氧化和

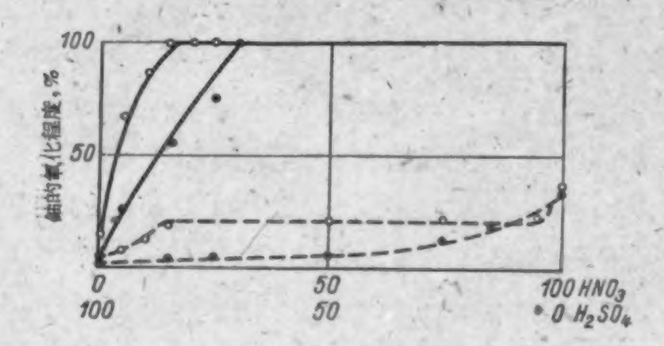


图 2　在硫酸和硝酸的总浓度为 100 克/升和 $\tau=3$ 小时时，在硝酸和硫酸混合物中，硝酸的量对鈾的氧化作用的关系．

○——八氧化三鈾；●——二氧化鈾；
———$t=90°C$；----——$t=20°C$.

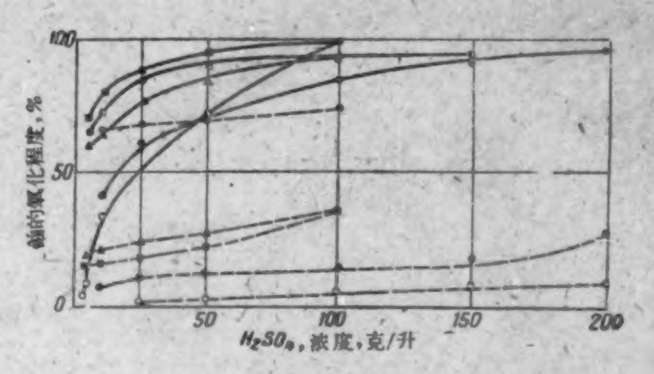
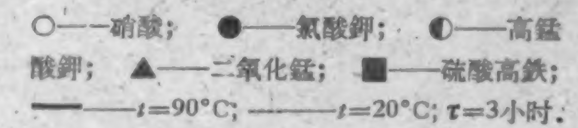


图 3　带有氧化剂的硫酸起始浓度对鈾的氧化程度的影响．



○——硝酸；●——氯酸鉀；◐——高錳酸鉀；▲——二氧化錳；■——硫酸高鉄；
———$t=90°C$；———$t=20°C$；$\tau=3$小时．

溶解．在 $t=90°C$ 时，采用二氧化錳得到較坏的結果．在采用氯酸鉀时，比起用硝酸和鉄盐使八氧化三鈾全部溶解过程，观察到需要更长的延續时間．

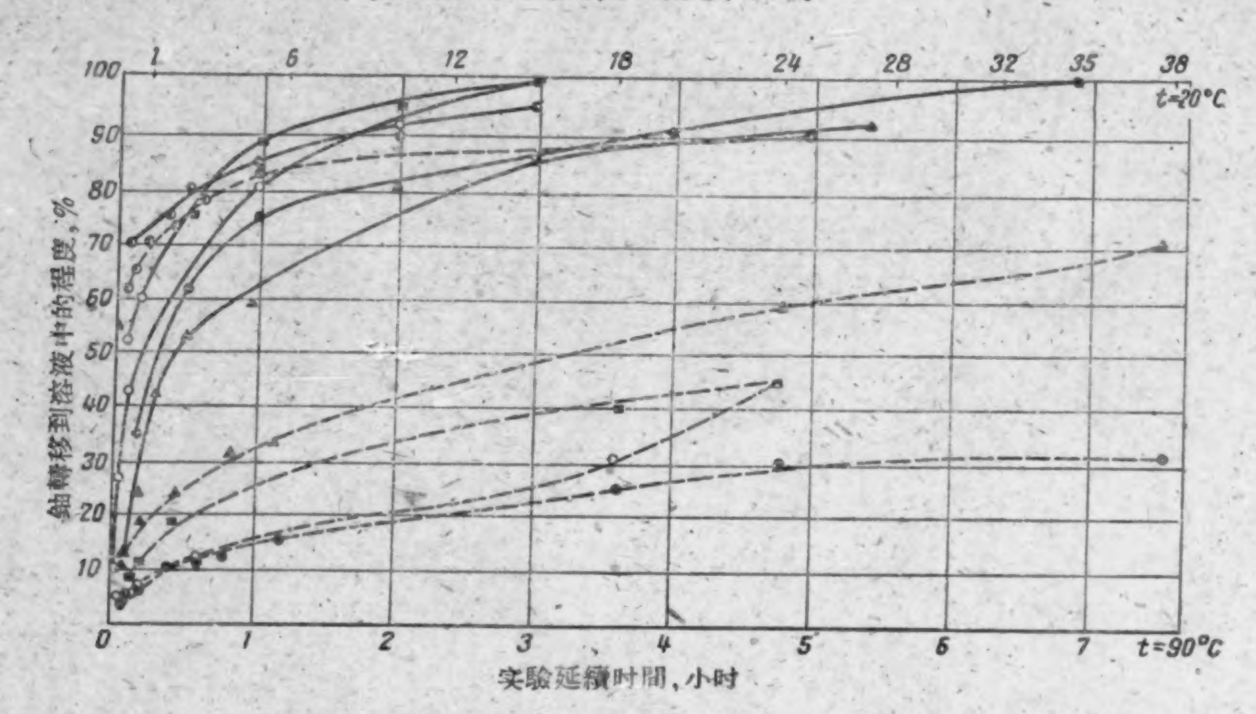


图 4 用带有氧化剂的硫酸处理八氧化三鈾时，过程延續时間对鈾的溶解的影响

○——硝酸；●——氯酸鉀；◐——高錳酸鉀；▲——二氧化錳；

■——硫酸高鉄；——— $t=90°C$ - - - - $t=20°C$.

图 5 列举了温度对鈾的氧化和溶解程度影响的某些最典型的曲綫．对于硝酸，在 $t=20$—40°C 范围內观察到特别快的鈾的氧化．在硫酸中附加硝酸或氯酸鉀时，温度对鈾的溶解程度的关系几乎是直綫关系．对于硫酸及硫酸高鉄、二氧化錳和高錳酸鉀的混合物，八氧化三鈾溶解的增长程度在 $t=20$—60°C 时比 $t=60$—90°C 时更快．图 5 中曲綫的比較，明确地指出，仅仅在采用高錳酸鉀时，温度对鈾的溶解的影响不太显著，这是因为在这种情况下过程处于扩散区．所得到的結果指出，当有氧化剂存在时，八氧化三鈾的溶解，很大程度上决定于純动力学的因素和过程的机构．

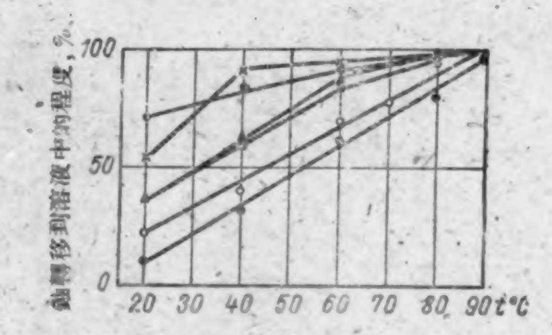


图 5 在用硝酸（×）和带有氧化剂的硫酸处理八氧化三鈾时，温度对鈾的溶解的影响

○——硝酸；●——氯酸鉀；◐——高錳酸鉀；▲——二氧化錳；

■——硫酸高鉄．酸的浓度为 100 克/升；$\tau=3$ 小时．

如果在硫酸浓度为 25 克/升时比較各种不同的氧化剂对鈾的氧化程度，那么可以看到，最有效的鈾的氧化剂是高錳酸鉀．硝酸和硫酸和氯酸鉀的混合物給出較坏的結果．在有二价鉄存在时，情况迴然改变．如果八氧化三鈾的氧化和溶解根据下列反应中之一来进行：

$$3U_3O_8+3FeSO_4+24HNO_3=9UO_2(NO_3)_2+$$
$$+Fe(NO_3)_3+Fe_2(SO_4)_3+3NO+12H_2O;$$

$$2U_3O_8 + KClO_3 + 2FeSO_4 + 7H_2SO_4 =$$
$$= 6UO_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + KCl + 3H_2O;$$
$$2U_3O_8 + 3MnO_2 + 2FeSO_4 + 10H_2SO_4 =$$
$$= 6UO_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + 3MnSO_4 + 10H_2O;$$
$$2U_3O_8 + 2HNO_3 + 2FeSO_4 + 7H_2SO_4 =$$
$$= 6UO_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + 2NO + 8H_2O,$$

那么在不存在硫酸时,对于这些氧化剂象氯酸鉀,二氧化錳和硝酸观察到鈾的氧化程度的增加(图 6). 反之,对于硫酸和硝酸的混合物, 鈾的氧化剧烈的减低. 在第一种情况下,鉄起着加快过程的催化作用. 在第二种情况下,使过程減慢.

文献[2]中描述了类似的情况. 在用硝酸和硫酸的混合物处理矿石时,酸的总浓度为108.5克/升,把鈾从粉碎較粗的矿石中提取到溶液中,曾經得到比較好的結果.在球磨机中磨碎的时間愈长,提取到溶液中的鈾愈少(95—72%). 由于在矿石細磨处理时, 有大量的鉄轉移到溶液中去. 然而文献[2]認为鉄的存在未必能解释鈾的提取的減低,因为取的硝酸的过量是和存在的鉄的量相等的.

图 7 表示二价鉄的化合物对于用硝酸和硫酸的混合物提取鈾时对氧化过程的影响及与硝酸和硫酸总浓度的关系. 当总浓度为 25—150 克/升时,观察到鈾的溶解度剧烈的减低. 这是与体系中 Fe^{2+}, SO_4^{2-}, NO_3^- 存在絡离子生成过程有关.

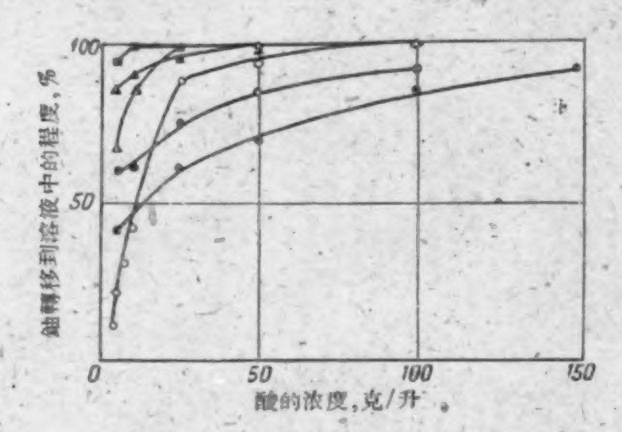


图 6 二价鉄的化合物在用硝酸(○, △)和带有氧化剂——氯酸钾(●,▲)及二氧化錳(◐, ■)的硫酸提取鈾时,对鈾的溶解的影响及与酸的起始浓度的关系:
○,●,◐——沒有 Fe^{2+} 时, $\tau = 3$ 小时;
△,▲,■——有 Fe^{2+} 时, $\tau = 1$ 小时.

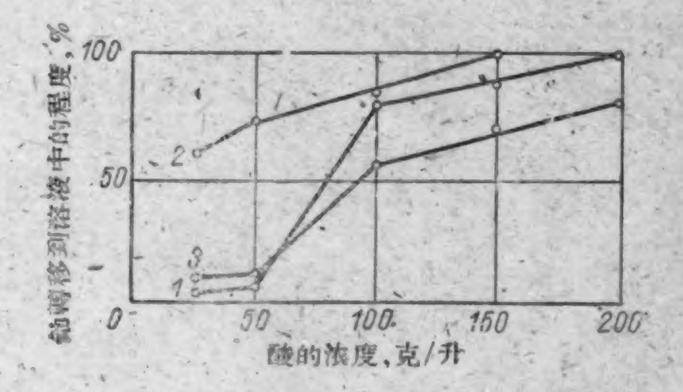


图 7 二价鉄的化合物对于用硝酸和硫酸的混合物提取鈾时对氧化过程的影响及与硝酸和硫酸总的浓度的关系:
1——有 Fe^{2+} 存在时; 2——沒有 Fe^{2+} 时,
$t = 90°C$; $\tau = 3$ 小时; 3——Fe^{2+} 的氧化.

在硝酸存在时所进行的氧化过程是自动催化过程. 过程中的催化作用是由氧化氮来完成的. 由于硝酸的分解产物連到 $[Fe(NO_3)SO_4$, $NO^+[Fe(NO_3)_3]^-$ 或 $Fe_2(SO_4)_3NO_3$ 型的絡合物中,使溶液呈暗褐色,所以使硝酸的氧化能力减低.

根据文献[7]的数据,溶液的酸度剧烈地影响到氧化氮的吸收. 在文献[8]中指出,氧化氮在二价鉄盐溶液中的溶解度和温度的关系,可用克芬修斯-克拉貝隆方程式来表示. 而与亨利定律有偏离. 随着硝酸浓度的提高,被鉄盐溶液吸收的氧化氮减少[9]. 从图 8 可以看到,在硝酸和硫酸的总浓度加到 200 克/升时,二价鉄的反影响停止了. 八氧化三鈾全部被溶解.

虽然体系中正常的氧化还原电位的数值 $\frac{Fe^{2+}}{Fe^{3+}} = 0.77$ 伏. 在所研究的氧化剂中是最低的,

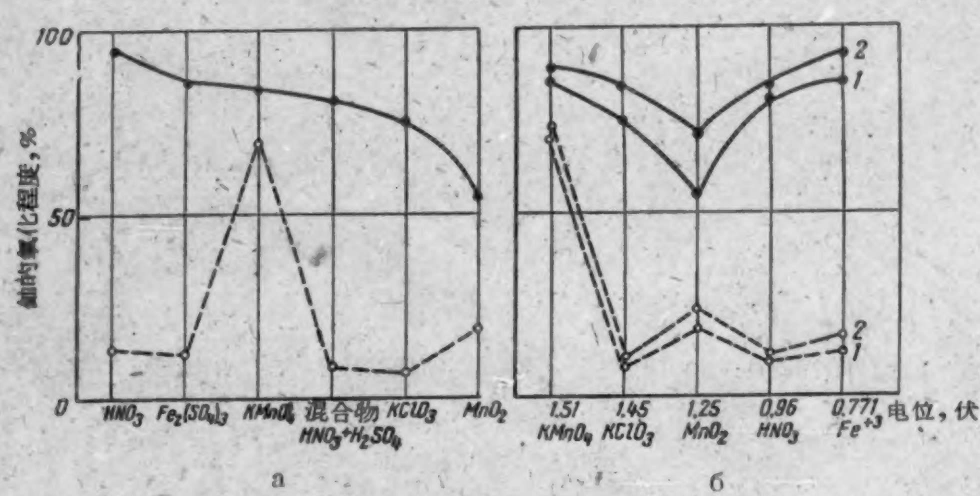


图 8 氧化剂的比較特性

a——根据对鈾的氧化能力的減低而排列； б——根据氧化-还原电位的減低而排列.
过程延續时間 1——1 小时； 2——2 小时； ——— $t = 90°C$ - - - - - $t = 20°C$.

在 $t = 90°C$ 时，比起氯酸鉀或二氧化錳，高鉄盐是較好的氧化剂（图 8）. 因此，在包含二种氧化剂-硝酸或高鉄盐的硫酸介质中，是三价鉄的化合物作为鈾的氧化剂. 硝酸和硫酸的混合物的总浓度在 25—150 克/升范围内，硝酸只与二价鉄离子生成絡合物，而不参与鈾的氧化过程. 在硝酸和三价硫酸鉄之比为等克分子量时，加入高鉄离子便开始出現鈾的氧化过程減慢. 逐漸提高附加的高鉄盐的量会增加八氧化三鈾的溶解程度. 同时，二价鉄离子的含量与按下列反应被氧化的鈾的量相对应.

$$U_3O_8 + Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2SO_4 = 3UO_2SO_4 + 2FeSO_4 + 2H_2O,$$

亦即鈾的氧化过程是这样进行的：在过程中，似乎硝酸并不参加到反应的混合物中去一样.

根据以上所述可以得出結論：

1. 研究了在酸性介质中試剂浓度，过程延續时間和温度对鈾的氧化物的氧化和溶解程度的影响.

2. 在用高錳酸鉀时，試剂浓度和温度对鈾的氧化过程影响最小. 虽然 $\frac{Fe^{2+}}{Fe^{3+}}$ 对 $\frac{U^{4+}}{UO_2^{2+}}$ 的氧化-还原电位比較低，在 $t = 90°C$ 时，在酸性介质中鉄盐是最有效的鈾的氧化剂.

3. 确定了在溶液中不存在鉄的化合物时，对鈾来讲，氯酸鉀和二氧化錳是效率最低的氧化剂. 在反应的混合物中引入二价鉄离子时，上述氧化剂即使在比較稀的酸溶液中，亦能使鈾全部氧化. 在有鉄离子存在时，为了氧化鈾和鉄，需要高浓度的硝酸和硫酸的混合物.

4. 确定了在有大量的鉄离子存在时，鈾被硝酸和硫酸的混合物氧化由于絡合物形成过程而減慢.

参 考 文 献

[1] Г. Мервин, Т. Анчерч и др: Химия ядерного горючего. М., Госхимиздат, 1956, стр. 91.
[2] Gunn By Brad, S. Cavers, A. Van Cleave: *Canad. J. Technol.*, **34**, No. 6, 379 (1956).
[3] T. Arden: *Industr. Chemist*, **32**, No. 376, 202 (1956).
[4] A. Gandin, R. Schuhmann: *J. Metals*, **8**, No. 8, 1065 (1956).
[5] К. И. Родден: Аналитическая химия урана и тория. М., Изд-во иностр. лит., 1956. стр. 66.
[6] И. П. Алимарин: Заводск. лаборатория, № 5—6, 545 (1940).
[7] Ч. Аддисон, Дж. Льюис: *Усп. хим.*, **25** № 9, 1121 (1955).
[8] С. Н. Ганз, Л. И. Мамон: *Ж. прикл. хим.*, **26**, № 10, 1005 (1953).
[9] Г. Д. Сироткин, В. В. Старостин: *Ж. прикл. хим.*, **27**, № 11, 1141 (1954).

論綜合矿山放射性測量工作

捷念巴烏姆 (И. М. Тененбаум)

本文叙述了采用綜合矿山放射性測量方法的問題以及这些方法与具体地質情况的关系，列举了在矿山內，保証高效率进行放射性定性和定量測量的最有利的条件。

根据鈾矿床的多样性，按放射性測量的特点，对鈾矿床作了分类，并相应地提出了最有效的綜合放射性測量工作。本文所叙述的原則，可用来計划在設計新矿山企业过程中的放射性測量工作。本文对在勘探、开采鈾矿床和矿山企业設計部門工作的山地工作者、地質工作者和物探工作者均有着实际意义和科学意义。

最近十年来，研究出了各种不同的放射性測量，并已貫徹到鈾矿床的实际勘探和开采中。利用这些方法查明和圈定鈾矿体，以及在岩体上对其进行取样。对金属的损失和矿石的貧化采取了防止的措施，对一般矿石和商品矿石的質量进行了分选和評价。

如果根据矿床的地質形态特征、矿石的放射性質以及勘探和开采矿床时所要进行山地工作的特点等情况来选择放射性測量工作方法和采用仪器时，就会更为有利地解决这些問題。

山地坑道和地表的定性与定量測量均属于总的綜合矿山放射性測量工作。山地坑道、掌子面、露天采矿場梯段的物探編录，掌子面上采落矿石的分选，矿車中矿石的分选，放射性选矿装置中矿石的放射性分选均属于定性質量；坑道、掌子面、梯段、充填場的放射性取样，矿車、汽車、箱子和运输器中采落矿石的 γ 快速分析均属于定量測量。鉆孔的伽傌測井，勘探炮眼和爆破炮眼的測井，即可用来了解矿化的定性性質，也可用来了解矿化的定量性質。

綜合二字的意思就是上述一些放射性測量工作的总和。綜合的作用大小是由每一工种的相对工作量和用途、方法、必要的实驗观測工作量和所采用的仪器所决定的。

上述任何一項測量（地块的某些地段和矿石的容积）均必須取决于勘探方法和矿床取样、加工方法和綜合性矿山技术加工中的其他情况，这又要取决于矿床的地質形态特征、矿体产状、矿石的物理性質、当地的地形和其他因素，主要为經济因素。

在地表进行的放射性定性測量不太决定于矿床的地質特点和矿山技术工作。矿石的放射性分选例外。这一工种在总的綜合工作中有着很大的意义。放射性分选的效率取决于矿石的放射性可选程度。而可选性主要决定于矿体中鈾的分布。

在岩体上进行定性測量的任务，是由开采矿石的方法确定的，而該方法首先又决定于矿体的厚度和其中鈾的分布。

为了使放射性定性測量更准确和更有效果，必須具备下列条件：

1）具有厚 γ 射綫飽和层；

2）研究对象的放射源連續分布和均匀分布；

3）鈾矿石中不含釷；

4）鐳(B + C)和鈾(或放射性位移常数)之間有放射性平衡。

在不具备这些条件的矿床內，进行放射性定量測量是很困难的，并且要进行工作量相当大的实驗工作。

对在标准容量中运送的矿石进行測量时，可以較容易地获得极可靠的結果。对矿化的不

均匀性、沒有飽和层以及对矿石的不均匀性和其中的釷測定时，可选择相应的金属标准源.

不具备有利的条件时，对在岩体中进行定性测量的可靠性有着极大的影响. 为了在矿床的勘探和开采的所有阶段內，都能充分利用放射性测量，所以在选择綜合放射性测量工作时，就应考虑这一情况.

在任何情况下，选择仪器时，都必須根据矿石中金属含量的变化范围来考虑. 矿体的厚度、其中鈾的分布、矿石中鈾和釷的最高富集和一般富集等的变化范围很大，是与工业鈾矿床成因类型的多样性有关. 由于矿床的地表风化作用，矿石中的放射性平衡状态經常遭到破坏：見有放射性平衡的局部位移，局部带状位移和带状位移. 各种矿床矿体內鈾的分布(从均匀到极不均匀)决定着矿石的放射性可选程度(从最可选到不可选).

由于矿床地质特征有很大的区别(包括已测出的γ射綫的強度和光譜成分的不同)，因此不能采用标准的綜合放射性测量工作.

为了选择对該地质条件最适合的綜合性测量，应将所有的矿床分成三类. 一类矿床中的矿体厚度、矿化分布特点和其強度均应相互近似. 根据这一标志应将矿床分成：厚层矿体和薄层矿体的矿床；矿体中鈾分布均匀、不均匀和极不均匀的矿床；矿石中金属富集低、富集中等和富集很高的矿床.

为了确定每一类矿床矿石中，测定的γ射綫和鈾含量之間的单值，最好根据矿石的放射性质(鐳鈾平衡和綜合性的鈾-釷矿化)再分成組. 矿床的这种分类列于下表中.

因此，所有的鈾矿床，根据其地质形态特征可归納为三大类. 每一大类中，根据矿石的放射性质又分矿床組. 每一类矿床，应采用統一的綜合放射性测量工作. 各个矿床組主要的綜合放射性测量工作則是根据工作方法相应的复杂程度、测量的密度、結果的可靠程度，也根据实驗工作的工作量、特点和比重，又根据进行测量的某些次要特点来划分的.

但是，在一个矿床范围內，可能遇見各种不同的地质形态或放射性质的矿体或矿带. 这时应根据分类表，分别对待这些矿带.

下面对放射性测量工作的三种綜合分别进行叙述. 第一綜合最好应用于Ⅰ类矿床中，第二綜合最好应用于Ⅱ类矿床中，第三綜合应用于Ⅲ类矿床中.

第一种綜合放射性测量工作的基础是，岩块中的定量测量、山地坑道、掌子面、梯段的放射性取样以及鉆孔和爆破炮眼的定量γ测井. 在矿車、汽車和輸送器中、矿石块的γ快速分析也有着重要的意义. 鉆孔的定性γ测量在綜合放射性测量工作中占有很大的地位，可以有成效地利用其数据进行矿床的能量計算. 定性测量在工作的所有阶段中仅是輔助性的. 矿石的放射性选矿不合算，在个别情况下，只有对装有一定大小的矿块，用灵敏的閃爍仪器才可以进行测量.

第二种綜合放射性测量工作与第一种綜合的区別是，在勘探时进行的足够工作量的鉆孔定量γ测量，在相当大的程度上，代替了山地坑道的放射性取样. 地下的定性测量不仅已經不是輔助性的工作，而且在很大的程度上，完成着独立职能，因为借助于此項工作，在半混合采掘时，可以实現选别回采矿石、在掌子面上分选矿石，以及防止由于矿石未整个掘出，而造成的金属損失等等. 在上述情况下，也可对采落矿石进行γ快速分析，不用事先分类矿石和岩石. 矿石的放射性选矿的作用有了极大的增长. 在放射性选矿装置装块料或分批装料时，可用灵敏度較低的仪器进行放射性选矿.

岩块的定性测量是第三种綜合放射性测量工作的基础：山地坑道和掌子面的物探編录，爆破炮眼和勘探炮眼的定性γ测井以及在掌子面上矿石和岩石的分选. 这些测量的目的是，检查山地坑道的方向，保証进行选择性的掘出矿石，防止金属損失和貧化. 地下的定量测量局限

鈾矿床的放射性測量工作特点分类表

<table>
<tr><th>类</th><th>鈾矿床的地質形态特征</th><th>組</th><th>分組</th><th>放射性質</th><th>矿床实例</th></tr>
<tr><td rowspan="4">I</td><td rowspan="4">厚0.5米以上的含鈾层，发育面积广大，具有均匀、稳定的貧鈾矿化</td><td rowspan="2">1</td><td>无釷</td><td rowspan="2">具有平衡矿石</td><td rowspan="4">沉积矿床和布兰德河及維特瓦特尔斯兰类型的砾岩</td></tr>
<tr><td>含釷</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>无釷</td><td rowspan="2">具有不平衡矿石</td></tr>
<tr><td>含釷</td></tr>
<tr><td rowspan="4">II</td><td rowspan="4">厚0.5米以上的层状、柱状和脉状矿体及单个矿脉，带有不均匀、断續的矿化。金属品位一般不高</td><td rowspan="2">1</td><td>无釷</td><td rowspan="2">具有平衡矿石</td><td rowspan="4">某些沉积矿床（潟湖-海成砂石）、沉积变質矿床、某些热液矿床（交代、单独矿脉和充填大断裂带的矿床）、淋滤矿床；混合岩化带和伟晶岩带</td></tr>
<tr><td>含釷</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>无釷</td><td rowspan="2">具有不平衡矿石</td></tr>
<tr><td>含釷</td></tr>
<tr><td rowspan="4">III</td><td rowspan="4">厚0.5米以下的細脉羣，矿化极不均匀，断續性大，一般为富矿化</td><td rowspan="2">1</td><td>无釷</td><td rowspan="2">具有平衡矿石</td><td rowspan="4">热液矿床（細脉羣）和某些伟晶岩</td></tr>
<tr><td>含釷</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>无釷</td><td rowspan="2">具有不平衡矿石</td></tr>
<tr><td>含釷</td></tr>
</table>

于对充填場的放射性取样。 在地表上对富矿、貧矿和岩石分别进行γ快速分析。快速分析的目的是，在已測量的岩体上統計各掌子面上的金属，这是儲量計算（全巷法），确定金属損失和矿石貧化所必須的。对矿块的放射性选矿在本綜合工作中有着极大的作用。不仅效率高，而且还是总的綜合性加工工作中不可缺少的一部分。

上述原則的基本原理經过了多年的实践所証实。

每一矿床的綜合放射性測量工作，最好在設計新矿山企业的过程中确定。进行这种設計时，应考虑地質形态、放射性和矿山技术等因素；应該保証勘探开采工作的最高效率，降低成本以及在矿山地表最合理的布署技术加工的基本建設。

丁 菊 譯

海 洋 校

鈾的热处理

谢尔盖也夫 (Г. Я. Сергеев)
基　多　娃 (В. В. Титова)
尼古拉也娃 (З. П. Николаева)
加普切力采夫 (А. М. Каптельцев)

文中叙述了鈾热处理的一种方法——淬火，以保証得到細晶粒的伪各向同性的結构.

指出了用 β 及 γ 相淬火方法来提高鈾强度性能的可能性，淬火对微观及宏观晶粒与化学成分間关系的影响. 研究了在存在 α 相的溫度范围内鈾的蠕变.

用鈾做的制件在中子流作用下的变形抗力与金属的成分、結构及性能有关[1].

与反应堆中释热元件的工作条件有关，堆芯金属的成分及結构应該是不同的. 假定称为"淬火"的热处理是改变鈾的結构及性能的方法之一.

淬火是指加热鈾到 β 及 γ 相的溫度，并随之快速冷却在水或油中. 此时在一般純度的鈾中不能在室溫时固定下高溫的或中間的相来. 然而淬火，正如以后要指出的，能大大地使宏观及微观結构变小，改变織构及提高鈾的強度性能.

研究了淬火对室溫或高溫时测定的鑄态鈾和热軋鈾的微观、宏观結构以及机械性能的影响.

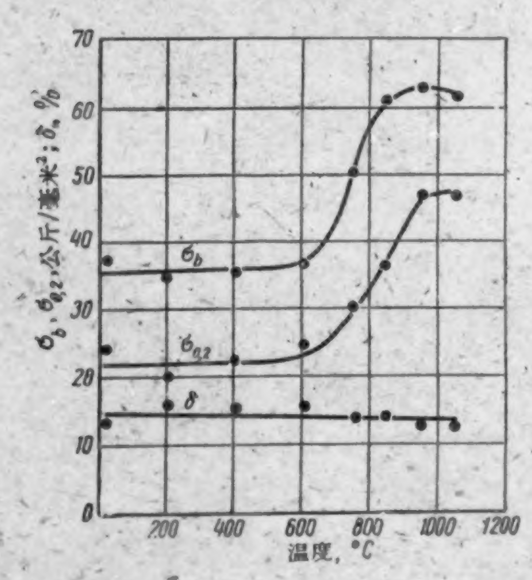


图 1　20°C 时热軋鈾机械性能的变化与淬火溫度的关系.

样品試驗是在 20°C 时进行的. 杂质含量(重量%)：鉄—$7\cdot10^{-3}$，硅 $1.2\cdot10^{-2}$，碳—0.04，氮 $7.4\cdot10^{-3}$

短时間的附加負載按比例縮小直径为 5 毫米样品的拉伸試驗是在 ИМ-4Р 机器上进行的；而蠕变是在 ЦКТИ-3 机器上試驗的，这机器是按本文作者的要求为了在純氮气氛中加热易氧化的金属而专門装配的. 标准样品(直径 10 毫米，工作段的长度为 100 毫米)是从直径 22 毫米长 200 毫米的棒上車制成的.

待淬火的棒在真空炉中加热. 鈾样品在拉伸試驗时，加热到 1000°C 是在化学純的氩气气氛中、在特殊装配的設备内进行的.

为了研究在 α、β、γ 相加热后淬火时机械性能变化的差別(图 1)，用热軋的，在空气中冷却的鈾棒在 200—950°C 时加热一小时，然后很快地移入油箱中.

鈾从 β、γ 相溫度的淬火导致強度特性的大大提高. 強度极限及屈服极限最大的变化是在从 γ 相的淬火后可以看到(差不多增加 60%)，那时強度极限从 35—40 增加到 60—65 公斤/毫米^2. 強度极限变化的相似的規律性在鑄态鈾淬火时也可以观察到[3]. 相对伸长率实际上沒有变化.

在鑄态或热軋鈾中有大晶粒的树枝状的宏观結构1)(图 2, a)、在大鑄錠中个别的宏观晶粒

---

1) 宏观結构是把磨片浸在下列試剂中显示出来的：在一升水中溶入 53 克氯化銨，85克氯化銅及 66 毫升盐酸. 漂白过程在浓硝酸中进行.

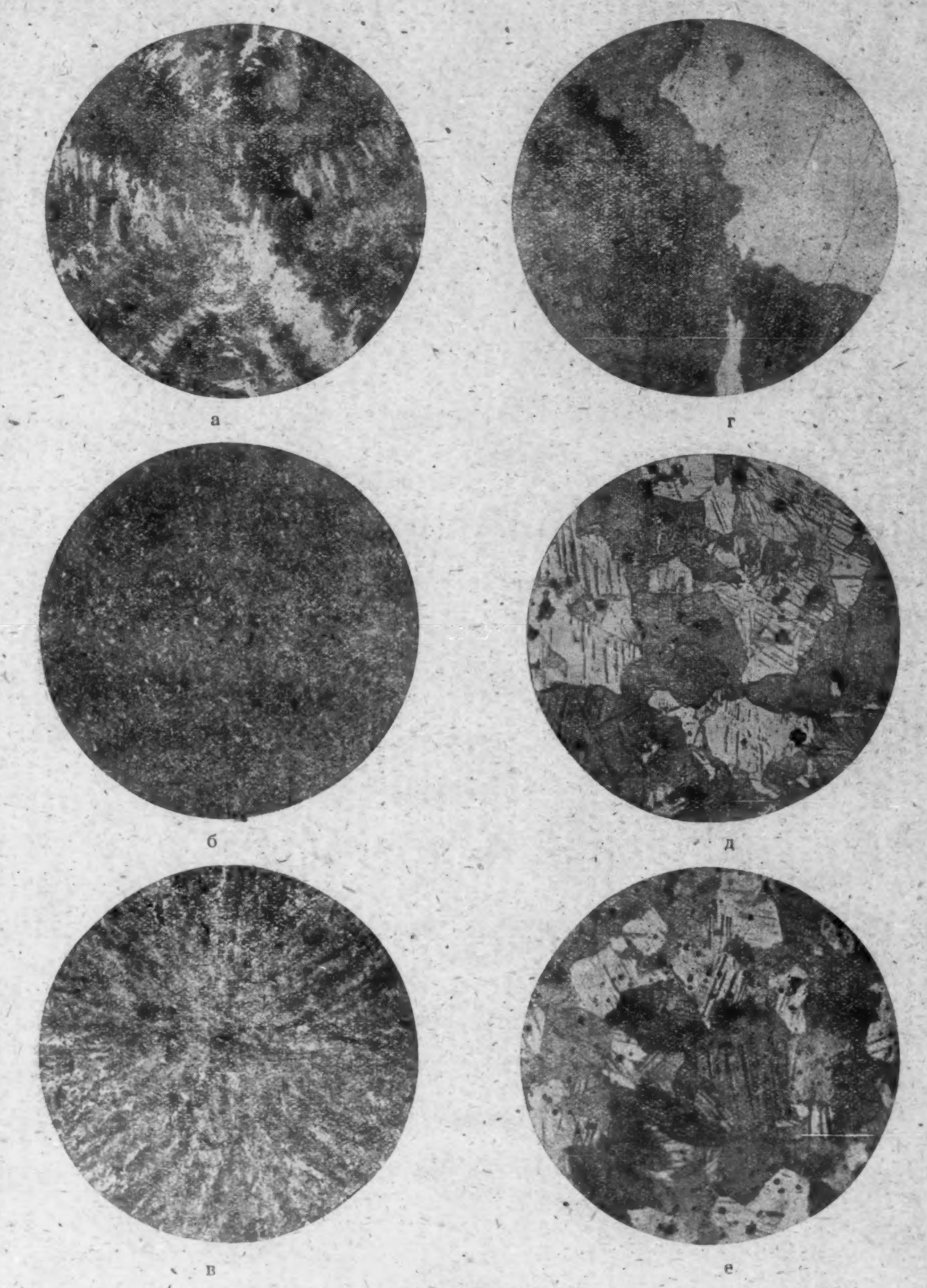


图 2　淬火时鈾結构的变化

а——热軋鈾的宏观結构，鉄及硅的总含量是 $1.9 \cdot 10^{-2}$%(重量)(×2)；
б——从 β 相淬火的鈾宏观結构(×2)；
в——从 γ 相淬火的鈾宏观結构(×2)；
г, д, е——相应于 а, б, в 样品的微观結构(×135).

的尺寸达到 30 毫米. 从 β 相区淬火导致細晶粒无取向結构的形成,宏观晶粒度在 0.8—2.0 毫米数量級(图 2, б). 从 γ 相区淬火时也发生晶粒的細化,但在此时,照例可以观察到晶粒排列的輻射状的方向性(图 2,в).

鑄态或热軋鈾的微观結构[1]是由粗晶粒組成, 而粗晶粒本身又由一系列的亚晶粒所組成, 它們相互間在取向上有5—10°的差别,然而与在沒有織构的鈾中一样,晶粒能有完全不同的取向. 热軋及鑄态鈾的微观晶粒的大小有 500—800 微米的数量級. 从 β 及 γ 相区淬火可以使晶粒細化到 70—150 微米. 然而除了細晶粒外,粗晶粒仍然保存,特别是在高純度的鈾中. 除了一般的晶粒細碎外,在淬火后还发現強烈的晶界切碎,出現大量的孿晶及滑移綫 (图 2д, е).

淬火鈾晶粒細化的程度与化学成分及杂質比例有关,首先是鉄、硅、鎳及鋁[1]. 在增加鈾中含鉄量及含硅量时,宏观晶粒的尺寸显著地变小. 然而从含 $3\cdot10^{-2}$ %(重量)起, 变化不显著了. 鋁有同样的效应,但較不強烈.

在測定淬火前保溫时間对机械性能变化的影响时, 鈾的样品加热到 750° 及 850℃; 在淬火溫度时,保溫时間从 15 到 120 分鐘間变化. 淬火是在油中进行的.

在所有的情形下, 淬火鈾的高机械性能在 15 分鐘的保溫后可以得到更多的延长保温时間,在从 β 及 γ 相的淬火时并不帶来強度性能数值上更大的变化.

在表 1 中列出了在不同的冷却介質(水,油,氬)中,淬火样品机械性能試驗的結果,而在表 2 中表示了水溫改变对鈾淬火时机械性能的影响. 列出的数据証实了愈是冷却速度快, 淬火鈾的強度特性也就愈高.

表 1 在不同的冷却介質中淬火的鈾的机械性能[1]

热 处 理	強度极限, 公斤/毫米²	假定的屈服极限, 公斤/毫米²	相对延长率, %	相对收縮, %
热 軋	37.9	26.0	6.8	10.8
750℃在氬气流中淬火[2]	39.5	21.2	8.2	10.4
750℃在油中淬火	50.4	34.7	4.9	8.2
750℃在水中淬火	51.6	31.2	6.3	8.4
850℃在氬气流中淬火	39.5	23.1	6.6	9.7
850℃在油中淬火	55.6	39.3	6.5	8.4
850℃在水中淬火	64.3	56.5	6.8	8.6

1) 样品試驗在室溫下进行.
2) 在該溫度下保溫时間为 60 分鐘.

表 2 水溫对淬火鈾机械性能变化的影响

热 处 理	強度极限, 公斤/毫米²	假定的屈服极限, 公斤/毫米²	相对延长率, %	相对收縮率, %
含有(重量%)鉄 $1.96\cdot10^{-2}$, 硅 $1.65\cdot10^{-2}$, 碳 0.05 鑄态的	44.1	31.3	4.6	8.8
水中淬火的[1] ($t=0$℃)	68.6	50.7	4.1	4.7
水中淬火的 ($t=20$℃)	68.7	51.6	2.4	5.6
水中淬火的 ($t=30$℃)	68.7	50.6	4.0	4.8
水中淬火的 ($t=50$℃)	64.4	47.1	3.3	5.2
水中淬火的 ($t=80$℃)	55.4	45.9	2.6	6.0
水中淬火的 ($t=100$℃)	49.9	45.4	2.4	5.0

1) 从 γ 相区淬火(850℃),保溫时間为 60 分鐘.

---

1) 微观結构是用电解鏤蝕法在下列試液中显示出来的:鉻酸、醋酸及水(1:1:2).

表 3　試样直径对淬火鈾机械性能的影响

試样直径 毫米	強度強限 公斤/毫米²	假定的屈服极限 公斤/毫米²	相对延长率 %	相对收縮率 %
22	55.6	39.3	6.5	8.4
18	60.9	37.2	7.3	7.7
14	61.0	44.5	6.9	6.7

因为淬火鈾的机械性能与冷却速度有关，因此它們也与被淬火試件的直径有关（表 3）。在热处理大制件的实践中必須考虑到鈾的可淬性。

在图 3 画出了淬火鈾机械性能的改变与回火温度間关系的曲綫。与未淬火态比較，淬火鈾在 α 相温度內回火后能保持比較高的強度极限及屈服极限值。只有当在 β 相温度內加热后才会发現強度特性的急剧降低直到原来的沒有淬火样品的数值。为了观察重复淬火对鈾的机械性能的影响，直径为 22 毫米的棒在 35 分鈡保温后在 740°C 的水中淬火。在金属中含有主要的杂質（重量百分比）：鉄—$1.07 \cdot 10^{-2}$，硅—$3.4 \cdot 10^{-3}$，碳—0.09，鎳—$3.2 \cdot 10^{-3}$。

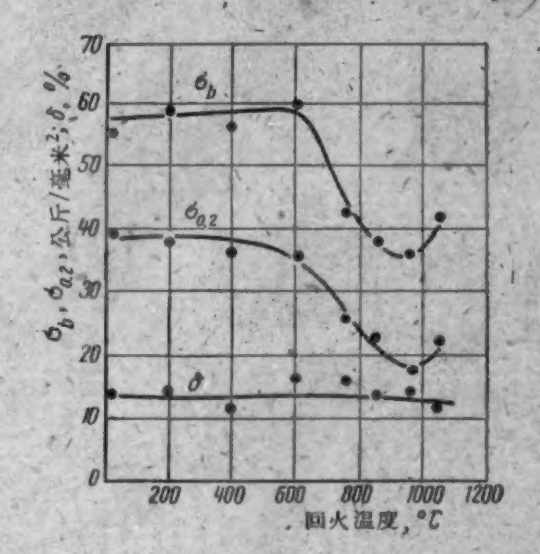


图 3　从 γ 相淬火鈾的机械性能改变与回火温度的关系

在开始的十次淬火后，強度极限升高了 17%（图 4）。再增加淬火次数到 20 时，強度极限有了一些下降，这是与裂縫的出現有关。在进行实驗时棒伸长了 4%。金相研究指出，多次的淬火导致淬火鈾的宏观、微观晶粒的細化，这是与文献[4]的数据相符合的。

对于从 β 及 γ 相淬火的鈾，短时間拉伸試驗的強度性能随温度升高而逐渐降低，但是在所有的 α 相温度內，比之相应温度时未淬火的样品仍然保持有比較大的強度特性（图 5）。

鑄态或热軋鈾从 β 或 γ 相淬火会导致抗蠕变能力的显著提高。但是这只是在下列情形下

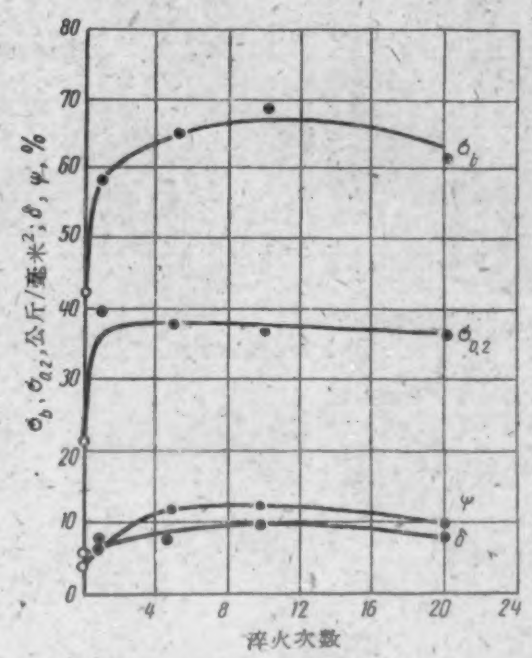


图 4　鈾机械性能改变与重复淬火次数間的关系

（ο——热軋鈾的強度特性）

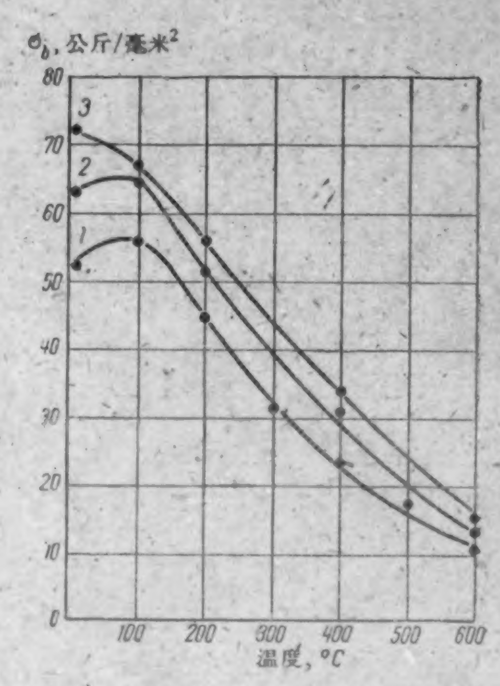


图 5　試驗温度对鈾机械性能的影响

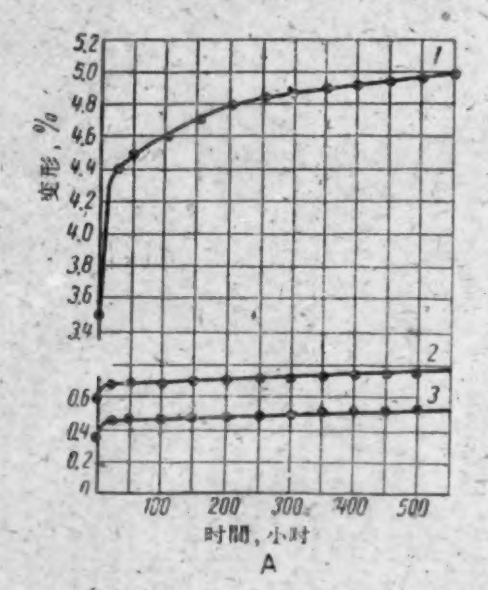
1. 鑄态的；2. 从 β 相区淬火的；3. 从 γ 相区淬火的

才能看到，即如果被試験的样品是受应力以及温度不超过 350—400℃ 时．在更高的温度下，淬火引起相反的效果，即降低鈾的抗蠕变能力（表 4 及图 6）．这現象在文献[5]中也曾被指出过．

表 4 鑄态及淬火鈾在 100、300 及 500℃ 时蠕变試驗的結果

（杂质含量(重量%)：鉄—$1.5\cdot10^{-3}$，硅—$4.83\cdot10^{-3}$，碳—$4\cdot10^{-2}$，氮—$4.85\cdot10^{-3}$）

試驗温度，℃	金 属 状 态	应力，公斤/毫米²	在負荷时的形变%	蠕变速度，%/小时	測量蠕变速度的区間，小时	总蠕变形变量	
						小 时	$\Sigma\varepsilon$，%
100	鑄态	30	1.88	$1.6\cdot10^{-4}$	180—500	500	2.53
	鑄态及随后从 γ 相区淬火	30	0.45	$2.9\cdot10^{-5}$	20—500	500	0.52
300	鑄态	25	3.50	$4.9\cdot10^{-4}$	220—540	540	5.00
	鑄态及随后从 β 相区淬火	25	0.59	$1.1\cdot10^{-4}$	110—565	565	0.74
	鑄态及随后从 γ 相区淬火	25	0.35	$7.6\cdot10^{-5}$	170—565	565	0.53
500	鑄态	4	0.04	$1.3\cdot10^{-3}$	40—520	520	0.87
	鑄态及随后从 β 相区淬火	4	0.04	$7.7\cdot10^{-3}$	50—210	500	5.05
	鑄态及随后从 γ 相区淬火	4	0.05	$7.3\cdot10^{-3}$	40—340	525	4.92



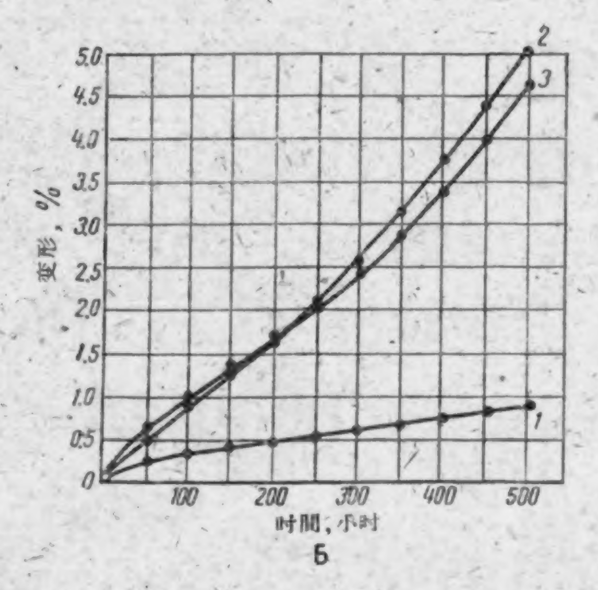


图 6 鈾蠕变的一次曲綫

1. 鑄态的；2. 从 β 相区淬火的；3. 从 γ 相区淬火的．A. 試驗温度 300℃；应力 25 公斤/毫米²．Б. 試驗温度 500℃；应力 4 公斤/毫米²．

在超过 300—350℃ 的温度时，在鈾的形变过程中晶粒沿晶界的流动开始起显著的作用．因此，具有大的晶界表面的細晶粒的淬火金属的形变，比之鑄态或热軋的粗晶粒鈾的形变是要更加容易一些．在低温时，当形变主要依靠孿晶的方法来实现时，被淬火所強化了的細晶粒的鈾具有更大的抗形变能力．

在蠕变試驗过程中，在超过400℃的温度时，应力長时期的作用会引起淬火金属的再結晶，这同样引起晶粒的細化．在文献[6,7]中曾指出在退火过程中甚至沒有补充的应力加上去以一定速度冷却的淬火鈾也有再結晶的趋势．

在生产释热元件的工艺过程中，为了显著地減小制件性能的各向异性对鈾芯在中子場及温度周期变化中稳定性的有害作用，鈾要进行淬火．

淬火鈾的結构由于晶粒的細化及織构的消除是接近于伪各向同性的．在此情形下，不論在短时期或長时期的試驗中（后者在温度不超过 400℃ 时）鈾的強度性能都有显著的提高．

如果具有一定結晶取向的样品加热超过 $\alpha \rightleftharpoons \beta$ 的相变温度，则由于这結果以及随后的冷却时的变化，热膨胀的各向异性是减小了，而样品接近于伪各向同性的状态.

样品或制件中热膨胀系数各向异性的消失是与在 β 或 γ 相区逗留的时間，与加热温度及冷却速度有关. 在图7[5]中表示了对于不同的冷却条件下綫膨胀系数各向异性(沿棒的軸向及沿半径方向系数的差值)与在 675℃ 下加热持續时間間的关系.

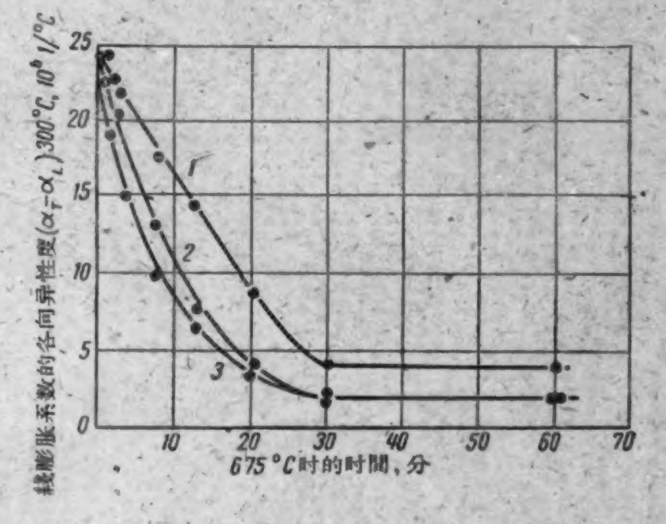


图7 在不同条件冷却下鈾棒在 675℃ 时加热时間对綫膨胀系数各向异性的影响
1.空气冷却； 2. β 相淬火及随后在 α 相退火； 3.从 β 相淬火.

从以上的叙述可以做出以下的結論：

1. 由于从 β 及 γ 相温度快速冷却鈾的結果(淬火)，使它的結构及性能发生变化.

2. 淬火使鈾的宏观晶粒度从 10—30 减小到 0.8—2.0 毫米，使微观晶粒度从 500—800 减小到 70—150 微米.

3. 热軋鈾的強度极限在从 β 相淬火后大約增加 30%，而从 γ 相淬火后差不多增加 60%.

4. 鈾的多次淬火当温度不超过 400℃ 时可以增加它的抗蠕变能力，而在更高的 α 相温度內則会减小.

5. 在淬火后宏观及微观結构和強度特性变化的程度是与鈾的化学成分有关，首先是与鉄、硅、鋁及鎳的含量有关.

6. 当鈾从 β 及 γ 相区淬火时，冷却速度对強度特性有很大的影响，淬火时的冷却速度愈快，強度特性的提高愈大.

7. 在所有的 α 相温度內，淬火鈾的強度特性(在短时間試驗时)比之同温度时未淬火的鈾来得高.

参考文献

[1] А. С. Займовский, Г. Я. Сергеев, В. В. Титова, Б. М. Левитский, Ю. Н. Сокурский: *Атомная энергия*, 5, вып. 4, 412 (1958).
[2] Г. Я. Сергеев, В. В. Титова, Е. М. Савицкий, А. А. Жулькова, З. П. Николаева: *Атомная энергия*, 5, вып. 6, 618 (1958).
[3] А. А. Бочвар, С. Т. Конобеевский, А. С. Займовский, Г. Я. Сергеев и др: *Атомная энергия*, 5, вып. 1, 5 (1958).
[4] Чизвик и др: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Избр. докл. иностранных ученых. Т. 6—Ядерное горючее и реакторные материалы. М., Атомиздат, 1959, стр. 53.
[5] R. Nichols: *Nucl. Engng*, 2, No. 18, 355 (1951).
[6] W. Donell: Kinetics of the Beta Transformation of Uranium Nuclear Engineering and Science Conference. Chicago, March 1958.
[7] H. Garder, J. Riches: The Effect of Transformation Cooling Rate on the Activation Energy Required for Recristallization of Beta Quenched Uranium. Nuclear Engineering and Science Conference. Chicago, March 1958.

改变温度时多晶鈾样品中內耗增加的研究

索庫尔斯基 (Ю. Н. Сокурский)
波布闊夫 (Ю. В. Бобков)

用扭振动衰减的方法,在样品以不同的速度进行加热的过程中,对样品的內耗随着时間的增长作了测量. 被研究的多晶鈾曾在 γ 相淬火,并在 γ 和 α 相退火并再結晶. 証明了,样品內耗的增长速度随时間而逐漸降低,內耗的增长达到一个极限值. 此极限值近似地与样品加热速度成正比. 內耗的增加与应力有关,而这个应力是在温度改变时,由于各向异性的热膨胀系数而在样品中产生的. 无論是晶粒长大致使晶粒尺寸与样品直径相近,或者由于样品中的择优取向使得內应力降低,均能使內耗的增长量減低. 在加热过程中,样品还发生了宏观滑移形变. 同样,在具有热各向异性的金属——鋅的加热过程中也看到了內耗的增加. 而在具有各向同性热膨胀系数的金属鋁和銅中,却沒有发現这种現象.

引　　言

在研究的过程中觉察到,当改变鈾样品的温度时,其內耗有剧烈的增长. 这个現象說明:当温度改变时,鈾中的弛豫过程大为加剧. 这是很有意义的,因为在使用过程中,鈾制另件的温度是經常改变的.

如所周知,在温度作周期性改变的情况下,多晶鈾发生严重形变[1,2]. 这个現象是用內应力的作用来解释的,在温度变化时,多晶的各向异性金属中产生出这种內应力. 温度升高时,多晶体的晶粒各向异性地长大,与相邻的晶粒相互作用,并产生应力和形变. 曾經指出,在这种应力的作用下,蠕变得到加速[3],就将象輻照长大所引起的內应力使得鈾的蠕变加快一样[1,4]. 但是,在文献中除了极少数資料对于未公布的工作有所引証之外[5],还沒有資料談到这种应力怎样影响这样一些敏感的参数,例如內耗.

已經知道,在塑性形变的过程中內耗有所增加. 特别是在鉬中,当以 0.08%/分鈡的速度发生形变时,內耗增加为原来的 6—10 倍[6]. 有关鋅在形变过程中內耗的增加,也有过报导[7]. 在文献[8]中确定了,当鉛管中气体压力增加时,其內耗大約增加一倍. 文献[9]还报导了在高温下,緩慢拉伸过程中鉛的內耗增加情况. 因而,在热各向异性的物体里,温度改变的过程中內耗的增加就不是意料之外的事了. 內耗的增加可能是由形变引起的,这种形变是由各晶粒的各向异性的长大所形成的.

研究的方法和被研究的材料

由自由扭振动的衰減来测量內耗,所用的装置与葛[10]的相似(图 1). 这种仪器的特点在于設有专門装置使样品用通过电流的方法来直接加热. 借助于継电器 4,水銀接点可以在实驗过程中接通和断开. 研究証明,这个接点对于內耗值影响很小,因此可以在用电流使样品加热的过程中直接测量內耗. 测量工作是在 $5\cdot10^{-6}$ 毫米汞高的真空中,在等速加热的过程中进行的. 在实驗过程中,用手按照預先选定的計划来調动电流調节器,来达到恆定的加热速度. 实驗时的加热速度在 2.5—20 度/分鈡之間.

用热电偶 8 (見图 1)所进行的测量表明,在加热过程中,样品沿縱长方向的温度落差不超

过 3—4°C.

按照振幅減低一半所需要的时間来測量內耗. 摆重和下夹头在样品上造成的应力不超过 75 克/毫米². 最大的振幅对样品的最大切应变 $1.2\cdot10^{-5}$ 相当. 在振动頻率約为 2 赫芝的情况下,用肉眼进行测量. 在許多实驗中进行了示波的光学記录,并按照它算出了內耗.

在 200°C 进行拉絲. 經过一系列的 α 相中間退火,把直径为 3 毫米的杆状物拉成直径 1 毫米长 200 毫米的鈾样品. 这些样品的成分如下(基本杂质),(重量)%:

-	C	Fe	Si	Al
A	0.037	$2.1\cdot10^{-3}$	$4.5\cdot10^{-3}$	—
Б	0.049	$8.3\cdot10^{-3}$	$1.4\cdot10^{-2}$	$1.4\cdot10^{-2}$

在以下情况下对样品进行了研究:

1. 在 γ 相(850°C)保温 2 小时后,在水中淬火. 平均晶粒尺寸为 15—25 微米.

2. 在 γ 相(850°C)以緩慢的冷却速度退火 2 小时,随后在 600°C 回火 4 小时; 在样品的横截面上一般地有 3—5 个尺寸为 0.2—0.4 毫米的晶粒.

3. 在 600°C 退火 4 小时以便使样品进行再結晶. 晶粒尺寸为 15—20 微米.

4. 在 500°C 退火 10 小时以便使样品再結晶并細化晶粒. 晶粒尺寸 2—4 微米.

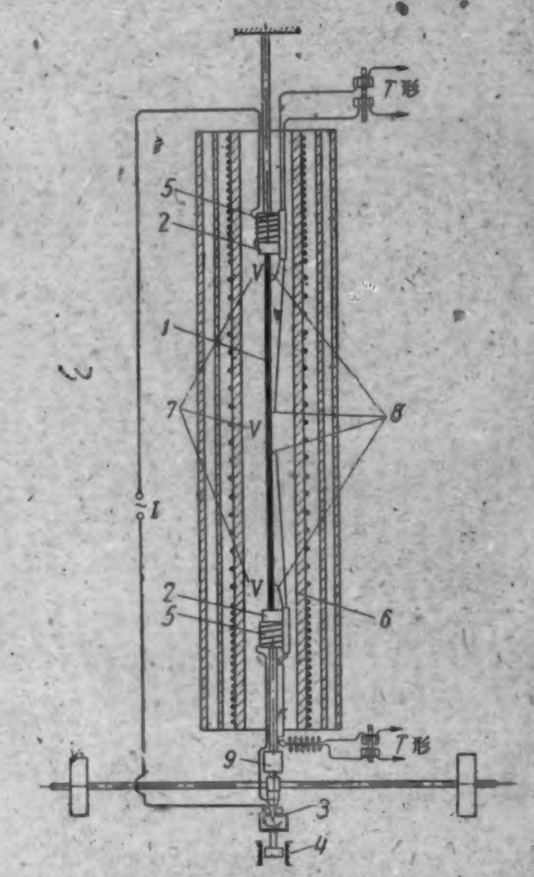


图 1　测量內耗的装置

1——样品; 2——夹头; 3——水銀接点; 4——継电器; 5——加热夹头的加热器; 6——管式电炉; 7——热电偶; 8——焊在样品上的、直径为 0.1 毫米的、鎳鉻-康銅热电偶; 9——小鏡子(鏡子与讀数尺的距离为 2.5 米)

測量之前,先使样品在室温下在仪器上静置,为的是使样品由于淬火以后的校直操作以及由于把样品安装在仪器上而造成的冷加工得以去除.

为了比較加热速度对于各向同性和各向异性材料的影响,还研究了鋅,工业純鉬和鋁的內耗, 样品尺寸和上述的一样. 用"ЧДА"牌号的鋅鑄出样品,也用已經再結晶的 «Кальбаум» 鋁制备样品. 所有样品在未装入仪器之前,先在再結晶温度附近进行退火,然后,在仪器中退火,以便消除安装样品时所造成的冷加工.

实　驗　結　果

图 2 表出在 A 种鈾(状态 1)上所得到的实驗結果. 图 3 給出这一实驗的开始阶段 (A) 和終了阶段 (Б) 的一个波形图.

从图 2,3 可以看出,在开始加热之后一下子增大起来,并且实际上随着加热的停止而降落下来. 在加热的初始阶段, 內耗的增加速度漸次減低, 而內耗値則达到某一极限值 $\Delta_{\text{пр}}$. 在 120—210 及 210—290°C 之間加热时, 也得到了相似的內耗随时間增加的曲綫. 对于 Б 种鈾(状态 2,3 和 4)也看到了相似的內耗增加的情况.

还証明了,甚至于很小的冷却速度($v = 1$ 度/分鈡), 也使內耗显著增加. 在用电炉使样品加热的过程中也看到相似的內耗的增加情况; 所以这种現象和加热样品所用的电流的作用沒有关系.

在停止改变样品温度的时候，看到内耗同时也有降低(看图 2、图 3)。如果样品温度在停止加热以后保持不变，那么内耗就能在 2—5 秒的时間內降低到一个与相应的温度所对应的数

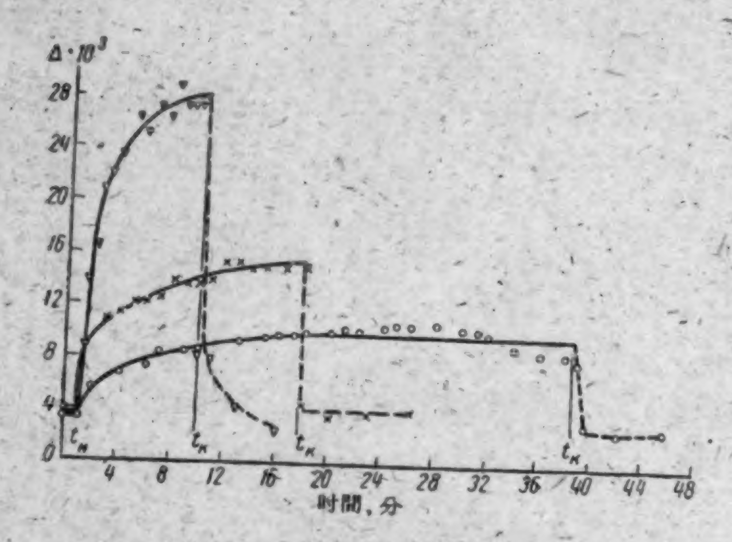


图 2 淬火的，状态 A 的鈾，当加热速度恆定时，在 20—120℃ 間隔內其內耗增涨与加热时間的关系.

加热速度(度/分鈡)：▽—13.55；×—5.75；○—2.83.频率 1.9 赫芝； t_H—开始加热的时間； t_K—加热結束的时間。

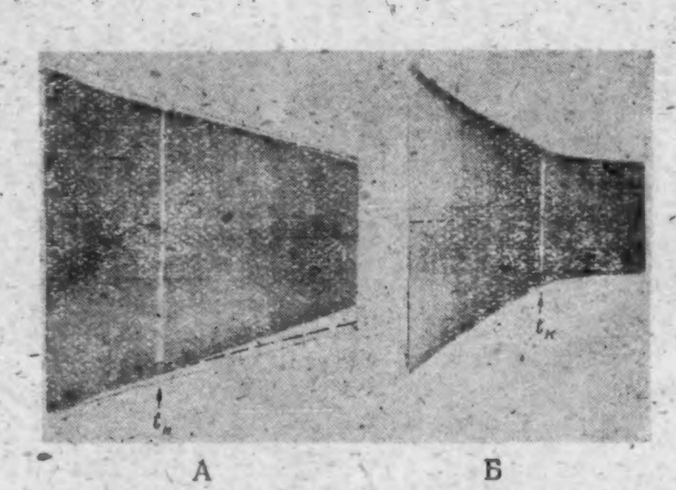


图 3 淬火的状态 A 的鈾，其內耗变化的波形图

A——开始加热后(在时間 t_H)。未加热时的振幅改变用虛綫表示； Б——停止加热后(在时間 t_K)。虛綫表示继續加热时振幅变化。A及Б中一横一点的直綫表示平衡点的位置。频率 1.9 赫芝。

值。但是在前述的仪器上，很难在停止加热以后一下子就使整个样品达到恆定温度。在許多情形下，这一期間內沿着样品的温度分布的变化，使得內耗的增加有某种程度的降低，就象图 2 上所表示的那样。

三种温度間隔內，內耗增加值与加热速度的关系被表示在图 4 里。內耗的增加，照例与加热速度成正比。仅仅是在 120—210 及 210—290℃ 的間隔內，对于被淬火的样品进行加热时，才看到有"飽和"的趋势。

大晶粒的、状态 2 的鈾，其內耗的增长与状态 3 和 4 的鈾的內耗增长大致相等，而为状态 1 的鈾的內耗增长的 $\frac{1}{2}$—$\frac{2}{3}$。当加热到 300℃ 以上时，內耗增加的效应就減低，在 350℃ 以上則实际上完全消失。

在加热过程中还观察到样品宏观的切应变，这种宏观切应变引起"零点的飄移"，环繞它而进行振动的那一点发生了位移。当以恆定速度加热时，"零点飄移"的速度实际上是不变的。在大晶粒的情况下(状况 2)零点飄移最大。大晶粒样品的加热速度为 10 度/分鈡时，样品的切应变速度最大，为(0.1—0.3)·10^{-5}/分鈡。

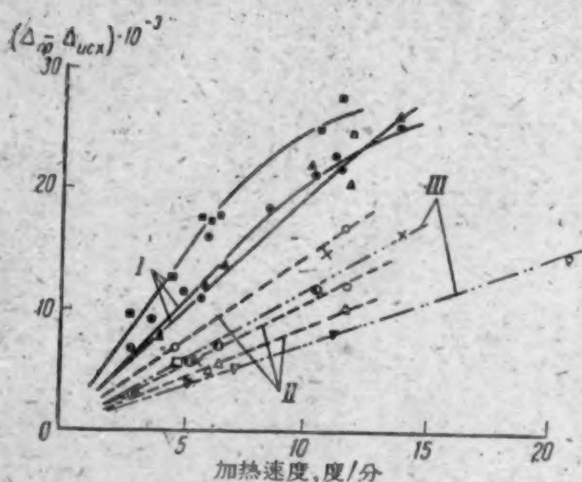


图 4 鈾的內耗增涨量($\Delta_{\text{增}}-\Delta_{\text{初}}$)与加热速度 v 的关系

频率≃2 赫芝； I——从 γ 区淬火的状态A 的样品(第一种处理： ●—20—120℃, ■—120—210℃, ▲—210—290℃)； II——从 γ 区回火的状态Б 的样品(第二种处理： △—20—120℃, □—120—210℃, ○—210—290℃)； III——再結晶的状态 B 的样品(第三种处理：▼—20—120℃, ◐—120—210℃；第四种处理：▽—20—120℃, ×—120—210℃)。

在加热过程中(与上述鈾的內耗改变时的加热条件相同)，鉬、鋁的內耗变化的研究表明，在这种条件下，內耗与温度的关系曲綫实际上与加热速度无关。看不到与加热的过程相連系的，附加的內耗增加(图 5)。具有严重的各向异性的热膨胀系数的鋅，在加热过程中內耗的变化

也表示在图5里．鋅的內耗变化，在所研究的温度范围內，和振幅有密切的关系．图5中引入最大振幅为 1.2×10^{-5} 时的內耗增长曲綫．从图上可以看出，內耗剧烈上涨，比长期保温所得

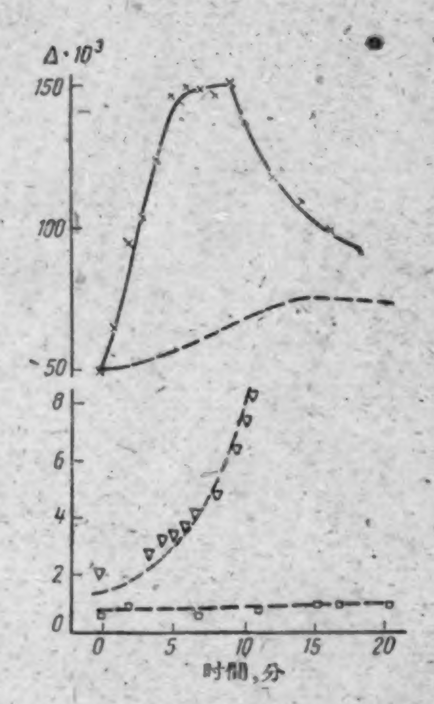


图5　下列金属在加热过程中的內耗变化
×——鋅（$v=6.86$ 度/分鈡，$f=2.6$ 赫芝）；
▽——鋁（$v=6.7$ 度/分鈡，$f=1.4$ 赫芝）；
□——鉬（$v=10.4$ 度/分鈡，$f=2.8$ 赫芝）；
虛綫表示加热速度为零时，即經过长期保温时的內耗变化过程．

到的內耗增大了好几倍．停止加热就引起內耗降低，但是与鈾不同的是，不是跳跃式地，而是慢慢地降低．

結果的討論

鈾、鋅和热各向同性金属的实驗結果的相互比較証明：温度变化过程中內耗增加的原因，是所謂应力內耗，这种应力是由于样品在温度变化过程中，晶粒的各向异性膨胀所引起的．

在实验过程中，多晶鈾中晶粒的应力状态取决于初始应力（$\sigma_{初}$）、由于晶格的各向异性膨胀而引起的內应力、以及由于扭摆振动所引起的周期变化的应力．在上述的应力作用下，晶体中某一晶粒的形变的图解就象图6所表示的那样．

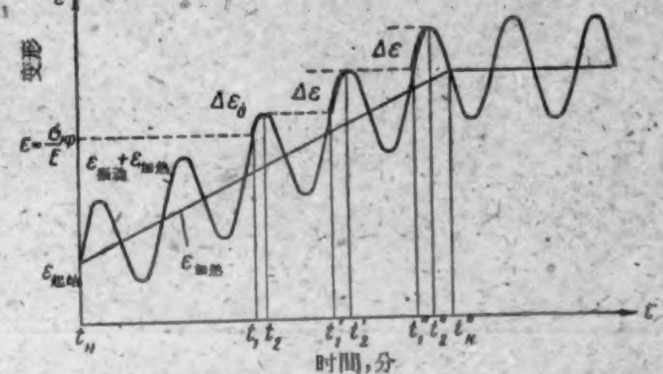


图6　α 鈾晶粒，由于加热过程中晶粒的各向异性膨胀，以及惰性摆的振动而引起的形变的图解：
$\varepsilon_{初始}$——初始应力引起的形变；$\varepsilon_{加热}$——在加热中由于晶粒的各向异性膨胀而引起的形变；$\varepsilon_{振动}$——由于扭摆振动而引起的周期形变．

$\varepsilon_{加热}$在加热速度不变时，与时間成比例地增涨，因此某一时刻的应力 $\sigma=E(\varepsilon_{加热}+\varepsilon_{振动}+\varepsilon_{初始})$，其中 E——弹性模量，等于临界应力．从 t_1 起，相应的晶粒将开始发生范性形变，并且将消耗弹性振动能，內耗逐增加．范性形变将一直継續到 t_2，直到那时，形变的方向还沒有因为扭振动而改变符号，并且也沒有使应力降低到 $\sigma_{临界}$以下．

在第一个周期里，塑性形变将等于 $\Delta\varepsilon_0$，所以第二个周期里的塑性形变将从 t_1' 开始，那时全形变超过了从前曾达到过的程度，并且应力也变得和 $\sigma_{临界}$ 相等了．因此，晶粒将在 t_1-t_2，$t_1'-t_2'$，$t_1''-t_2''$ 等时間間隔內經受塑性变形．

一个周期里的形变量 $\Delta\varepsilon$，因之，內耗的增涨量正比于描述 $\varepsilon_{加热}$ 与时間关系的直綫斜率，而它又正比于加热的速度．如图 4 所表明的那样，这个結論基本上与实驗相符合．

象从图 6 所看到的那样，停止加热应当同时引起內耗値的降低，这是因为，在时間 $t_{停}$ 停止加热，将使周期內的塑性形变量減低到零．这个結論同样也为实驗所証实．

在开始加热以后，內耗値立刻就开始增加．这个現象意味着，多晶鈾里晶粒的初始应力非常大，并且达到了 $\sigma_{临界}-E\varepsilon_{振动}$ 値．在第一个加热阶段中，內耗以不变的速度逐漸增加，这个現象是和內应力的积累，以及那些晶粒內部的总应力超过 $\sigma_{临界}$ 的晶粒数量的增长相連系着的．內耗的极限量和这种状态相对应：那些取向利于形变的晶粒，大部分都发生了形变．

晶粒尺寸的增加（直到和样品直径差不多），会減低內应力，因为在这种情况下，有很大部份晶粒表面跑到样品的表面上来，并且在加热时，晶粒的形变來得更加自由．因此內耗就降低．

虽然再結晶的样品里晶粒很細，但是这些样品的內耗却也不大．这个現象可以用以往的形变所产生的择优取向的影响来解释．由于部份的晶粒有着合宜的取向，加热过程中內应力的积累就比較小，因此，內耗的增涨也較小．再結晶晶粒的多角化形式也能促使內耗的降低，这时，就象在淬火或退火的鈾里一样，晶粒有着不正常的形状以及严重畸变的晶界．

个別晶粒的塑性形变将互相抵消，但是不会完全抵消．因此出現了宏观的切应变，这种切应形在实驗中以"零点的飄移"的形式表現出来．晶粒愈大，未被抵消的形变的几率就愈大．实际上，一般地在大晶粒的材料中才看到显著的零点飄移．

在进行测量的溫度范围中，看来，沿晶粒边界的弛豫并不大，因为，否則內耗的增涨应与晶粒尺寸和晶粒总面积有密切关系．对于被淬火和回火的鈾所进行的实驗表明，晶粒尺寸增加一个数量級（即晶粒边界的表面增加 ~100 倍）使內耗降低 1/2，并且这可以用晶粒中內应力的降低来加以解释．

晶粒边界的影响应当在更高的溫度出現[11]．可能，在 300—350°C 范围內的加热过程中內耗增涨現象的消失，正是和晶粒边界塑性的升高相連系着．

参 考 文 献

[1] С. Т. Конобеевский, Н. Ф. Правдюк, В. И. Кутайцев: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 7. М., Госхимиздат, 1958, стр. 526.
[2] Чизуик, Келмен: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 9. М., Госхимиздат, 1958, стр. 184.
[3] Мак-Интош, Хил: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Избр. докл. иностранных ученых. Т. 6—Ядерное горючее и реакторные материалы. М., Атомиздат, 1959, стр. 187.
[4] A. Roberts, A. Cottrell: *Philos. Mag.*, **47**, 711 (1956).
[5] A. Holden: Physical Metallurgy of Uranium. New York, Addisson—Wesley Publ. Corp., 1958.
[6] R. Maringer: *J. Appl. Phys.*, **24**, 1525 (1953).
[7] G. Alerst: *Phys. Rev.*, **97**, 863 (1955).
[8] Р. И. Гарбер, Т. Т. Могильникова: Докл. АН СССР, **118**, 479 (1958).
[9] G. Brook, A. Sully: *Acta Metallurgica*, **3**, 460 (1955).
[10] Ké Ting Sui: *Phys. Rev.*, **71**, 533 (1947).
[11] С. Т. Конобеевский, А. С. Займовский, В. М. Левитский, Ю. Н. Сокурский и др: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Докл. советских ученых. Т. 3—Ядерное горючее и реакторные металлы. М., Атомиздат, 1959, стр. 396.

苏联的放射性度量法[1)]

阿哥林采夫 (К. К. Аглинцев)
保期卡列夫 (В. В. Бочкарев)
哥拉布列夫斯基 (В. Н. Граблевский)
卡拉瓦也夫 (Ф. М. Караваев)

在本文里，概述了放射源标准化和放射性輻射测量方法問題的近况．敍述了組織輻射测量系統的一般原則，此原則奠定在应用一个单位系統、一个标准方法和装置、一个相对测量(用标准源)方法的基础之上的．引用了检驗放射源(被校准成放射性单位)的图，复制居里单位的标准方法以它为基础．簡单地敍述了标准的和监督用的放射源的主要特性．

輻射测量的基本任务在于测量放射性样品的放射性．实践中应用同位素的任务除了要解决这个主要問題以外，还要求发展度量方法以获得样品的全部剂量测量特性，測定輻射譜的成分、強度、被測量样品的参数(綫度、化学成分、重量)和关于包装样品的外壳的材料．

样品的放射性和同位素輻射譜决定了样品的全部輻射，对于实际应用上，它不同于重要的外部輻射，因为輻射在样品及其包装外壳內都有吸收与散射．根据这个原則，放射性的测量在本质上和輻射強度的测量不能分割开来，而且样品不能采用沒有外部輻射的数据．

必要的度量衡設施的配套归結为統一测量单位、生产标准和制定标准方法，以后拟制一个将单位的作用从标准轉換到工作样品与测量仪器上去的系統和方法．

在苏联正式采用以下几种单位：居里、毫克鐳当量、仑琴、拉特．在苏联主要用 4π 計数管、量热計和电离室复制居里单位．4π計数管用来测量放射性強度为 10^{-7}—10^{-11} 居里的 α 和 β 放射性样品，测量精确度为 1—3%[1]．

以 e 俘获[2]蛻变的样品放射性根据 4π 計数管讀数之差决定，管內充以甲烷时，只記录电子和本底，为了記录标識輻射，在管內再加一些氙．测量 e 俘获放射性的范围是10^{-10}—10^{-6}居里，而测量精确度是 6—8%．

为了测量強度范围大于 0.01—0.05 居里的样品的 α，β 和 γ 輻射，应用下述标准装置：微分 γ 量热計[3]，等温 β 与 γ 量热計和 α 量热計．用这一类型的量热計，可以测量放射性在 0.05—3 居里以內的样品，精确度是 3—5%．

等温 β 量热計是根据液体氮蒸发的原則[4]．同一类型的 γ 量热計不同于 β 量热計，它有特殊的用鎢和酒精制的吸收体，并有很大的杜瓦瓶．用这一类型量热器能测量放射性大于 0.01 居里的样品，精确度为 3—6%．

微分 α 量热計供测量 α 輻射样品的放射性用．它是由两个相同的銀小杯組成，小杯放在銅制的恆温器內．量热計的灵敏度足够测量含量不小于 1 毫克鐳元素的样品，测量精确度是 1—2%．

复制居里的电离方法奠定在测量电离的基础上，电离是被样品的 γ 輻射产生于电离室之

---

1) 这篇文章根据苏联代表团在放射性同位素度量衡国际会議上所作的报告材料写出的(1959 年 10 月 14—16 日，維也納)．

內．同时，必須知道电离室的效率，也就是說，与該放射性同位素的单位放射性．有关的电离电流．

为此目的而制造的4π立体角帘栅电离室由两个同心放置的鋁球組成，鋁球的外直径为230和260毫米，壁厚5毫米．被测量的样品放在內球的中心．計算效率要知道γ量子的能量和对于被測量的同位素的γ譜在一次蜕变中的γ量子数，以及γ射綫在空气中的电离功．現在，已知道这个数值，其誤差是5%，因此用該方法測量放射性的誤差等于7—8%．測量的范围是10^{-4}—10居里．

放射源的外部γ輻射，現在常用鐳的γ当量来表征．这个数值与鐳的这样一个量相当（用厚为0.5毫米的鉑片包住），它的γ輻射，在空气当量电离室內所产生的电离和給定的放射源所产生的电离相同．

复制鐳的γ当量单位（1毫克鐳当量）用国家的标准鐳实現．在此以前，苏联的国家标准鐳是标准 № XI，可以和从前第一次日內瓦国际鐳标准（1911年）比較．和标准 № XI 一起制造与測量的标准 № X 是标准——复制品．現在的工作根据1934年为赫宁戈失米道特（Хениг-шмидот）制造的由20个样品組成的新标准 № 5427 进行的．从标准的鐳γ当量单位轉换到鐳的标准源是在标准装置上用电离室来实現．測量結果的精确度对于γ当量为10毫克鐳当量放射源是0.5%，对于γ当量为1000毫克鐳当量的放射源是1.5%以下．γ当量为1—0.001毫克鐳当量的放射源，产生的电离和本底可以比較，要在有所謂补偿电离室[6]的装置上測量．測量結果的精确度，对于γ当量为1毫克鐳当量的放射源是1%，对于γ当量为0.001毫克鐳当量的放射源在5—8%以下．

复制γ輻射（量子能量等于0.3—3兆电子伏）的仑琴单位在标准装置[1,7,8]上进行，它是具有飽和压力（20大气压以下）的电离室．考虑到上述校正后，測量精确度是±3%．

为了将标准或标准装置的单位大小轉换到使用的仪器或者工作的放射源，其所經过的手續列于上述图表內．复制居里单位的标准方法是奠定在这个供測量強度用的图的基础之上．

在苏联大批生产和应用了两种放射源：供校准放射性样品和作輻射測量与剂量測量仪表刻度用的标准源，只用于监督工作和仿制不同仪表用的标准源．应用这一种监督放射源向生活提出了在国內[9]要有大量不同的剂量和輻射測量的仪表，并有必要在当地监督它的工作和获得其示度的比較資料．

根据特殊技术条件制备的和用一个标准装置仔細測量过的样品要当作一級的标准源来鑑定．和一級标准源比較的样品称为二級标准源，并作为剂量和輻射測量仪表的刻度調整用，以及用以检查监督放射源或其他工作的放射源[10]．

在检查图內（参看插图），四个水平方向用虛綫划的区域順次为标准和标准装置、一級和二級标准源、工作样品．矩形表示測量仪表、正方形表示測量方法．这样以来，检查图表示在实践中任何被应用的样品之間，或者測量仪表和国家标准之間的关系．

在检查图內，为了測量样品的γ当量（毫克鐳当量）預先用电离室校对了計数管．允許应用“滑动的”，即蜕变的氡的样品．对于測量仑琴单位的检查图，是用空气电离室以复制仑琴的标准方法为依据的．单位大小的轉換用标准源或者标准γ源进行．

当用γ源作剂量仪的刻度用时，正确表示距离和調整射綫束的系統是很重要的，因为这两个因素实际上是影响到源的輻射場[11]．

复制中子流的单位用标准方法实現；用这个方法測量一級标准中子源．这些中子源是些样品，在該样品內鈹被不同放射源（鐳、釙、鍁）的α粒子或γ量子所照射．

在国外类似的測量用：

用测定蜕变数的方法复制强度单位的标准方法

标准	对α粒子有立体角的标准計数管(10^{-11}—10^{-7}居里)．工作标准	对β粒子有立体角的标准計数管(10^{-17}—10^{-7}居里)．工作标准	标准αβ量热計(对α輻射10^{-3}—10居里，对β輻射10^{-2}—10居里)．工作标准		对于γ輻射(10^{-4}—10^{-7}居里)的标准电离室．工作标准		标准γ量热計(10^{-1}—10居里)．工作标准
	用标准α計数管作直接測量	用标准β計数管作直接測量	用标准α量热計作直接測量	用标准β量热計作直接測量	用标准电离室作直接測量		用标准γ量热計作直接測量
一級标准源	放射性为10^{-11}—10^{-7}居里的一級标准α放射源 $\delta_{\text{пр}}=\pm2\%$	放射性为10^{-11}—10^{-7}居里的一級标准β放射源 $\delta_{\text{пр}}=\pm3\%$	放射性为10^{-3}—10居里的一級标准α源 $\delta_{\text{пр}}=\pm15\%$	放射性为10^{-2}—10居里的一級标准β源 $\delta_{\text{пр}}=\pm5\%$	放射性为10^{-4}—10^{-1}居里的一級标准γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm7\%$		放射性为10^{-1}—10居里的一級标准γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm5\%$
	用計数管校对	用計数管校对	用电离室校对	用电离室校对	用計数管校对	用电离室校对	用电离室校对
二級标准源	放射性为10^{-11}—10^{-6}居里的二級标准α源 $\delta_{\text{пр}}=\pm4\%$	放射性为10^{-11}—10^{-6}居里的二級标准β源 $\delta_{\text{пр}}=\pm5\%$	放射性为10^{-4}—10居里的二級标准α源 $\delta_{\text{пр}}=\pm3\%$	放射性为10^{-3}—10居里的二級标准β源 $\delta_{\text{пр}}=\pm7\%$	放射性为10^{-6}—10^{-4}居里的二級标准γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm10\%$	放射性为10^{-4}—10^{-1}居里的二級标准γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm8\%$	放射性为10^{-1}—100居里的二級标准γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm5\%$
	用計数管校对	用計数管校对	用电离室校对	用电离室或計数管校对	用計数管校对	用电离室校对	用电离室校对
工作样品	放射性为10^{-11}—10^{-5}居里的α源，$\delta_{\text{пр}}=\pm6\%$	放射性为10^{-11}—10^{-5}居里的β源，$\delta_{\text{пр}}=\pm7\%$	放射性为10^{-5}—10居里的α源，$\delta_{\text{пр}}=\pm5\%$	放射性为10^{-4}—10居里的β源 $\delta_{\text{пр}}=\pm9\%$	放射性为10^{-7}—10^{-4}居里的γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm12\%$	放射性为10^{-4}—10^{-1}居里的γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm9\%$	放射性为10^{-1}—100居里的γ源 $\delta_{\text{пр}}=\pm8\%$

(1) $4\pi-\beta-$計数管，它在正比和盖革区域内工作(美国、英国、加拿大、法国、西德、瑞典、日本、葡萄牙等)，制造标准的技术和对测量的結果引入必要的校正的方法給予很大的注意；

(2) $\beta-\gamma-$符合 $4\pi-$計数管(美国、英国、加拿大等)；

(3) 用以测量 α 和 β 源的量热計(美国)；

(4) 液体閃爍計数器，其中有測量 H^3 和 C^{14} 的 4π 計数管(英国和美国等)；

(5) 充有放射性气体的計数管(英国、美国、加拿大和西德等)。

我們注意到，在外国不太用 γ 量热計測量 γ 源的放射性，但是在苏联这个方法运用得很有成效。还必須指出，在苏联，活性与剂量之間的关系比外国度量衡机关連系得更紧密，当登記放射性样品时和对剂量仪表进行刻度时这就有明显的优点。

如样已指出的，标准源是检查图的重要部分。对不同的放射源作如下簡要的叙述：

标准 α 放射源 用以测定校正 α 样品用的 α 装置的計数系数。根据这个系数，可以决定被校正 α 样品的絕对 α 放射性。为了制备标准 α 源应用 U^{233}，天然鈾和 Pu^{239}。

放射性物质用电离法以直径为 10 毫米的斑点的形状粘附在直径为 15 毫米的鉑片上。

表1 标 准 α 放 射 源

源的強度，蛻变/分	U^{233}	U^{235}	天 然 鈾	Pu^{239}
30	+	+	+	+
100	+	+	+	+
300	+	+	+	+
1000	+	+	+	+
3000	+	+	+	+
10000	+	—	—	+
30000	+	—	—	+
100000	+	—	—	+
300000	—	—	—	+
1000000	—	—	—	+
3000000	—	—	—	+
10000000	—	—	—	+

表1指出大量制造的标准 α 源的主要类型。由表可見，不是所有的 α 源都生产成带全部刻度范围的(方格未标有符号＋)。

电解法制备的 α 放射源，保証可以得到牢固的、均匀的、和样品盘很好粘合的一薄层。标准 α 源的強度和額定值之差不大于 10%，这一点在說明书內加以註明。

用有电子捕集器的脉冲电离室比較第一和第二种标准源。強度在 30000 蛻变/分以下的放射源，可在立体角为 4π 或 2π 的电离室內測量。测量強度为 30000 和高一点的放射源要用小立体角的电离室 (α 发射器法)。当用几何条件为 4π 或 2π 测量时，其精确度是 0.5—1%。

每一个标准 α 源都有一个說明书，其中註明強度(用蛻变/分表示)，同位素成分，放射性杂質的量，半衰期的数据，被采用的蛻变图，放射性物質的表面密度和重量，放射性斑点的大小、材料、厚度、重量、衬托物的直径，测量方法及日期。

监督用的 α 放射源 监督用的 α 源的強度通常用每分鈡的 α 蛻变数表示，有时用在 2π 或 4π 立体角內的 α 粒子数表示，这时要考虑粒子从样品盘上的反射和在放射物質中的吸收。

在苏联所有监督用的 α 源(根据特殊要求而制备的源例外)都是用鈈制造的。按照自己的特性，Pu^{239} 要完全符合制造标准的和监督放射源的放射性同位素的要求。

将鈈粘附在样品盘上大多用电解法进行，由于鈈有高的比強度(0.06 居里/克)，这个方法

能給出很薄的(小于 0.7 毫克/厘米^2),而且在衬托物上牢固地粘附了一层二氧化钚.

对于所有制作监督用的 α 源要确定其一定的使用期限,它决定于源的強度和使用条件.

現在,大量生产強度为 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 400, 600, 800 等在 10^5 蜕变/分以下的放射源,为了监督不同类型的剂量仪表的工作,它們的用途极为广泛.

共制造了 20 套 α 放射源. 包括一套放射源中有不同的放射性表面(1—200 厘米^2),它們有不同大小的衬托物(12 种).

标准 α 放射源 是用許多不同的同位素制成的,这是由于計数装置的效率和被研究的輻射的能量有密切的关系,所以要有一个寬的能量范围. 为此目的,我們选取具有比較此半衰期的,以及通常有簡单能譜的同位素: H^3, C^{14}, S^{35}, Ca^{45}, Co^{60}, Tl^{204}, $Ra(D+E)$, P^{32}, $Sr^{90}+Y^{90}$, UX_1+UX_2.

必须指出,为此目的,最近也采用鉅,这种源有不同的放射性,其范围是 10^4—10^6 蜕变/分.

同时,第一种源是用极輕的一层放射性物質粘附在一个薄的薄片上,用 4π 計数管测量. 制作第二种标准 β 源是将薄而均匀的放射性样品层填充在衬托物(通常用鋁作)上,放射性斑的直径有 10 毫米. 而且这种标准源在机械上是牢固,化学上稳定,无吸湿性和能够防止与外界介質发生同位素的交换.

如同与 α 源一样,在 β 源的說明书內,应指出被采用的蜕变图,半衰期,大小,成分,样品层的厚度,关于放射性杂質的資料和采用的测量方法. 对于长寿命的放射源(大于 5 年),說明书的使用期限是一年,而对于短寿命的是一个半衰期(但不超过一年). 同时,在标准源的使用期限內,放射性杂質不超过放射性強度的 0.5%. 对于指定的放射源,說明书上的数值的精确度在 2—7% 的范围之內,它决定于 β 源的能量和放射性強度的額定值.

监督 β 源 基本上用 Sr^{90} (与 Y^{90} 处于平衡状态)制成,一部分用 Tl^{204} 和 Pm^{147} 制造. 监督源的放射性強度用每分鈡內 β 蜕变数表示. 制造源的方法,可使 Sr^{90} 层直接固定在衬托物上,或酚甲醛树脂,也可以将氧化膜填充在鋁上. 鉅和錠可用电化学方法将它們粘附在衬托物上. 为了防止放射性层受机械作用,有些标准源用鋁箔粘附.

监督 β 源的放射性強度范围很大,它和 1 平方厘米上表面比放射性为 0.2 到 2×10^5 蜕变/分相对应. β 源強度的测量方法和监督用的 α 源相同.

在 13 种不同的衬托物上制造了 25 套不同的监督 β 源. 这些源的放射性表面有 0.1—300 厘米^2.

用在几个地方测量局部放射性表面的方法来检查不均匀性,該表面的大小为 1 厘米^2; 测量的地点取决于源的几何大小,可从 3 到 12 个. 用类似調整光闌的办法来选取局部放射性表面.

标准 γ 源 是用鐳, Co^{60} 和 Cs^{137} 造成. 一套标准源是由样品組成,样品的鐳 γ 当量值(克鐳当量)是: 5; 2; 1; 0.500; 0.200; 0.100; 0.025; 0.010; 0.005; 0.001; 10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-6}; 10^{-7}; 10^{-8}; 10^{-9}; 10^{-10}; 10^{-11}. γ 鐳当量数与其額定值之差不大于 ±20%,这一点在說明书已註明.

Co^{60} 标准 γ 源可制成綫度为 1—2 毫米的小球形或圓柱形. 每一个源都装在一个壁厚为 0.2 毫米的密封的鋁瓶內.

Cs^{137} 标准 γ 源(1 毫克鐳当量或更小一些),装在壁厚为 1.2 毫米的球形不銹鋼細頸瓶內. 而放射源是涂在直径为 0.25—1 毫米的小球上. 強度大于 1 毫克鐳当量的 γ 源作成不銹鋼制的圓柱形細頸瓶状,瓶的直径在 10 毫米以下,长在15毫米以下.

用鐳的含量为 10^{-7}—10^{-11} 克的鐳盐制成的标准源是氯化鐳的水溶液,它含有一定量的氯

化鋇，該溶液放在圓柱形的玻璃細頸瓶內.

鐳的含量为 5×10^{-11}, $n\times10^{-10}$, $n\times10^{-9}$, $n\times10^{-8}$ 和 $n\times10^{-7}$ (n 是从 1 到 9 任意一个給定的数)的标准鐳源放在长为 5—12 厘米，直径为 0.6—1.5 厘米的細頸瓶內.

做好的样品內鐳的含量，由制造者根据原始溶液的称量和浓度用計算方法决定的. 原始溶液的測量精确度在 0.7% 以下. 在源的說明书內有以下資料：鐳的含量(以克計)，制造日期，鋇的含量，关于細頸瓶的資料(直径，长度，壁的厚度).

用鐳含量为 $0.2-10^{-6}$ 克的鐳制造的标准源. 是放在玻璃細頸瓶內的鐳的溴盐. 細頸瓶放在用合金制造的盒子內，合金的成分是 90% 的鉑和 10% 的銥，壁厚 0.5 毫米. 鐳源的簡单特性列入表 2 中. 細頸瓶用 Ц-32 牌无硼玻璃造成.

表2　鐳 γ 輻射体的特性

鐳的含量，克	鐳含量的容許偏差，%	玻璃細頸瓶外表面的大小，毫米	
0.2	±5	6.9—7.8	40±2
0.1	±5	6.9—7.8	40±2
0.025	±10	6.9—7.8	40±2
0.010	±10	6.9—7.8	40±2
0.005	±10	6.9—7.8	40±2
0.001	±10	6.9—7.8	40±2
10^{-4}	±20	6.9—7.8	40±2
10^{-5}	±20	6.9—7.8	40±2
10^{-6}	±20	6.9—7.8	40±2

在标准 γ 源的說明书內註明了鐳的无水溴盐、鐳在源內的含量(以克計)、測量的精确度和測量日期.

监督 γ 源　用和标准源相同的同位素制成，強度的范围很寬. 除了上述形状以外，Co^{60} 监督源也作成圓柱形，大小为 1×1，2×2 和 5×5 毫米(鋁外壳)和一段金属絲状，直径为 0.7—0.9 毫米. Cs^{137} 放射源的类型和标准源相同. 此外，出产了大量的各种式样的监督 γ 源，它的大小适用于特殊化的仪器.

标准中子源　采用一套 Ra—α—Be 源作为中子源，它們含有 1000，300，100，30，10 和 1 毫克鐳. 另外，还用一套 Pu—α—Be 源，含有 15，1，0.5，0.1，和 0.01 克鈈.

第一种源是溴化鐳和粉末状的鈹挤压制成的混合物，放在双重密封的圓柱形容器內，在混合物中鐳和鈹的重量之比是 1:6. 第二种源是鈈和鈹有間隙的金属結合($PuBe_{13}$).

在 4π 立体角內，在 1 毫克鐳中中子的产額不小于 1×10^4 中子/秒. 鐳中沒有新釷，鋇的含量不大于 5%.

在外国，系統地出产标准源. 在英国，生产 60 种不同同位素的源，其中大量的标准源作为国际交换比較. 在美国，出产大量的标准源的品种，它們具有很寬的放射性強度范围，其中有 P^{32}，K^{42}，Co^{60}，J^{131}，Ta^{182}，Au^{198}，$Sr^{90}+Y^{90}$，Tl^{204}，Na^{22}，H^3，C^{14}，Cs^{137}，S^{35}，Kr^{85}，Hg^{203}，Ra^{226} 样品等. 現在，在西德出产几种长寿命同位素的标准源，但是在 1960 年，也出产短寿命的同位素的标准源.

大規模生产不同同位素制成的标准源以进行国际比較有着极其重要的意义. 許多国家参加这种工作.

参 考 文 献

[1] К. К. Аглинцев и др.: *Атомная энергия*, № 2, 55 (1956).
[2] А. А. Константинов: Приборы и техника эксперимента, № 1, 67 (1959).
[3] К. К. Аглинцев, Е. А. Хольнова: Тр. ВНИИМ, вып. 30 (90), 25 (1957); Докл. АН СССР, **98**, 357 (1954).
[4] Е. А. Хольнова: Тр. ВНИИМ, вып. 30 (90), 18 (1957); Докл. АН СССР, **98**, 357 (1954).
[5] Ф. М. Караваев: Измерительная техника, № 5, 60 (1959).
[6] Ф. М. Караваев: Тр. ВНИИМ, вып. 30 (90), 53 (1957).
[7] К. К. Аглинцев, Г. П. Остромухова, М. Ф. Юдин: Там же, стр. 109.
[8] К. К. Аглинцев, Г. П. Остромухова: *Атомная энергия*, **6**, вып. 1, 63 (1959).
[9] Справочник по дозиметрическим, радиометрическим, электроннофизическим приборам, счетчикам, сцинтилляторам и фотоумножителям. М., Атомиздат, 1959.
[10] К. К. Аглинцев, М. А. Бак, В. В. Бочкарев и др: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Докл. советских ученых. Т. 6—Получение и применение изотопов., М., Атомиздат, 1959, стр. 227.
[11] З. П. Балоня др: Измерительная техника, № 12, 47 (1959).

簡　報

能量为14.7兆电子伏的中子所引起的 $Th^{232}(n,2n)Th^{231}$ 的反应截面[1)]

兹辛 (Ю. А. Зысин)　科夫里日内赫 (А. А. Коврижных)
尔博夫 (А. А. Лбов)　謝林親哥夫 (Л. И. Сельченков)

为测量能量为 14.7 兆电子伏中子所引起的 $Th^{232}(n,2n)Th^{231}$ 的反应截面值，曾利用基于测量 Th^{231} 及分裂裂片 Mo^{99} 及 Ba^{140} 的放射性的方法[2)]. 这种方法不必要測量絕对中子流，但需已知分裂截面 σ_f (指 Th^{232} 为 14 兆电子伏中子所分裂的截面——譯者)及相应裂片的产額 γ_{Mo}, γ_{Ba}.

能量为 14.7 兆电子伏的中子是由低压直綫加速器加速氘核 ($E_d \simeq 150$ 千电子伏) 通过 $D(T,n)He^4$ 反应获得的. 仔細被攪拌的硝酸釷 $Th(NO_3)_4 4H_2O$ (約 0.2 克) 与氧化鈾 U_3O_8 (約 0.6 克)(預先由 $UX_1 + UX_2$ 清除的)的混合物应加以照射. 曾进行过六次照射(照射时間 3—11 小时)，且每次輻射中子总数約为 $(2—6) \times 10^{14}$.

在照射时，盛在圓柱形密封盒子內的上述混合物放在中子流中，其方向与入射的氘束方向一致，距氘靶中心距离約为 7 毫米.

盒内盛入大量的 U_3O_8 是与此事实相关的，即在能量为 14 兆电子伏中子分裂 U^{238} 的情况下，分裂截面值和裂片的 Mo^{99} 和 Ba^{140} 的产額值已准确得出 ($\sigma_f^U = 1.1$ 靶; $\gamma_{Mo}^U = 0.063$; $\gamma_{Ba}^U = 0.047$). Th^{232} 分裂时形成的 Mo^{99} 或 Ba^{140} 的量，当选择适当的 Th^{232} 与 U^{238} 值时 (盛于盒中的)不超过 5% ($\sigma_f^{Th} = 0.35$ 靶).

照射之后，将盛在盒中的混合物溶入盐酸，并加入硝酸. 从所获得的溶液中用化学方法分离出所需要的同位素. 用 4π 計数管測量 β 放射性(沒有必要对內轉換电子引入修正).

測量了上述样品的衰变曲綫及其在鋁中的吸收曲綫，从而得出分离样品的純度. 在計算时对照射时間內 Tc^{99m} 和 La^{140} 的衰变进行了修正，还考虑到 Th^{232} 自然衰变产物增加的放射性.

按下列公式进行計算

$$\sigma_{n,2n}^{Th} = \frac{N_{Th}\, T_{1/2\,Th}}{N_{Mo}\, T_{1/2\,Mo}} \left(\sigma_f^U \gamma_{Mo}^U \frac{232 P_U}{238 P_{Th}} + \sigma_f^{Th} \gamma_{Mo}^{Th} \right).$$

式中 N_{Th}, N_{Mo} 为 Th^{231}, $Mo^{99}(Ba^{140})$ 在照射結束时单位时間內的衰变数与盛在盒子內 Th^{232}, U^{238} 总量之比; $T_{1/2\,Th}$, $T_{1/2\,Mo}$ 为 Th^{231}, $Mo^{99}(Ba^{140})$ 的半衰期; σ_f^U, σ_f^{Th} 为 14 兆电子伏中子所引起的 U^{238}, Th^{232} 的分裂截面; γ_{Mo}^U, γ_{Mo}^{Th} 为能量为 14 兆电子伏中子分裂 U^{238}, Th^{232} 的裂变产額; P_{Th}, P_U 是盒內 Th^{232} 及 U^{238} 的重量.

---

1) 工作是在 1956—1957 年完成的.

2) 該方法在下述文献中有所叙述: Г. П. Антропов, Ю. А. Зысин, А. А. Коврижных, А. А. Лбов. *Атомная энергия* 5, вып. 4, 456 (1958).

結果得到能量为 14.7 兆电子伏中子所引起的 $Th^{232}(n,2n)Th^{231}$ 的反应截面值为

$$\sigma_{n,2n}^{Th}=(0.65\pm0.15)\ 靶$$

既要考虑到个别实驗值的誤差，又要考虑到分裂截面值及裂片产額值的系統誤差.

进一步测定 Th^{232} 为 14.3 兆电子伏中子所分裂时 Mo^{99}，Ce^{141}（$\gamma_{Mo}^{Th}=0.020$；$\gamma_{Ce}^{Th}=0.059$）及其他裂片的产額，这点是可能实现的，只需要照射純硝酸針 $Th(NO_3)4H_2O$ 不附加 U_3O_8. 用这种方法所测得的实驗結果与早期所得結果一致.

最后，作者感謝夫拉索夫(В. А. Власов)、科瓦尔道烏 (А. С. Ковалдову)、拉尔采夫(В. М. Ларцев)、涅吉娜 (В. Р. Негина)、阿薩耶夫 (Н. Д. Осяев) 在完成此項工作中所給予的帮助.

U^{238} 在能量为 14 兆电子伏中子的作用下所产生的 γ 輻射

維列金尼科夫 (А. И. Веретенников)　阿維尔琴科夫 (В. Я. Аверченков)
薩　　文 (М. В. Савин)　斯别哈夫 (Ю. А. Спехов)

曾测量能量为 14 兆电子伏的中子与 U^{238} 相互作用时所产生的 γ 射綫譜与 γ 量子数. 利用测飞行时間法来区分 γ 量子与中子的效应.

实驗几何图与仪器方块示意图如图 1 所示. 利用 $d(T,n)He^4$ 反应的中子（当 $E_d\simeq125$ 千电子伏）. 由靶子上产生的 α 粒子流用隔板 D 分出立体角 $\omega_\alpha=4\times10^{-3}$，这相当于能量为 14兆电子伏的中子束. 样品是圓盘形的天然鈾，放在对束綫軸成 45° 角处(有所超过). 采用直

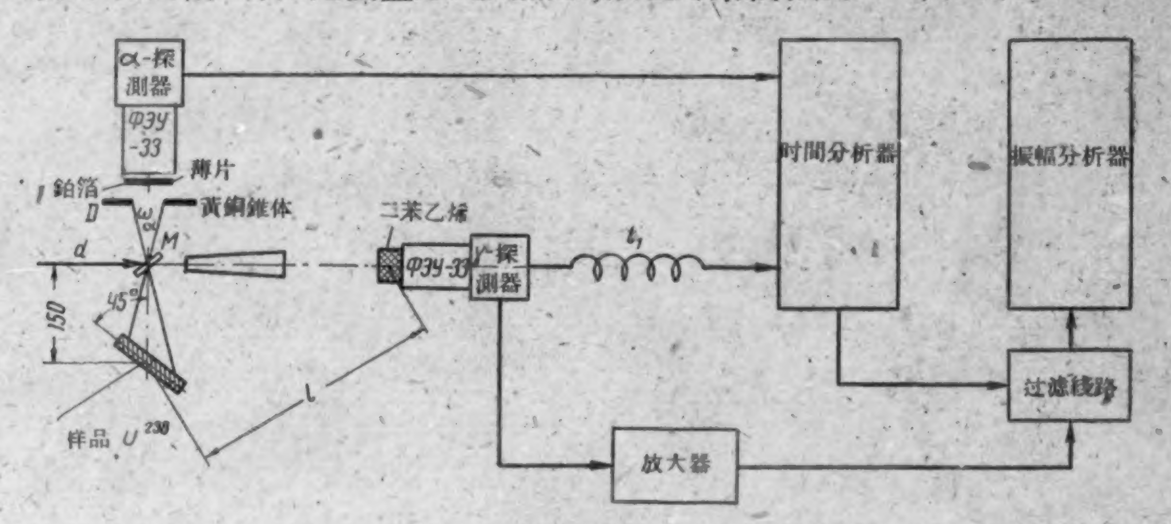


图 1　实驗几何图与仪器的方块示意图

径为 56 毫米，高 28 毫米的均二苯乙烯晶体与光电倍加管 ФЭУ-33 作为样品上发出的 γ 射綫探测器. 为了减少能量为 14 兆电子伏中子由于弹性散射而产生的本底，这个探测器是放在对束綫成 90° 角处. 用黄銅錐体防护从靶面直接出来的中子流. α 粒子是用閃鑠薄膜测量的[1]，此薄膜用厚約 2 微米的鋁箔，防止氘的散射与氚的 β 粒子的散射.

从 α 和 γ 探测器出来的脉冲輸入到时間分析器上[2]. 对直径 100 毫米，高 11 毫米的 U^{238} 样品，由 α 和 γ 探测器給出的脉冲之間的时間积分分布如曲綫 1 所示(图 2). 飞行距离选择

为 65 厘米．在相同条件下，用引入附加延迟符合 $\Delta t_1 = 75$ 毫微秒的方法[1)]所测得的偶然符合本底如曲綫 2 所示．放置 γ 探测器于射綫束中所测得的 α-n 符合曲綫的（曲綫 3）半寬度表征分析器的分辨时間（$2\tau = 4$ 毫微秒）．

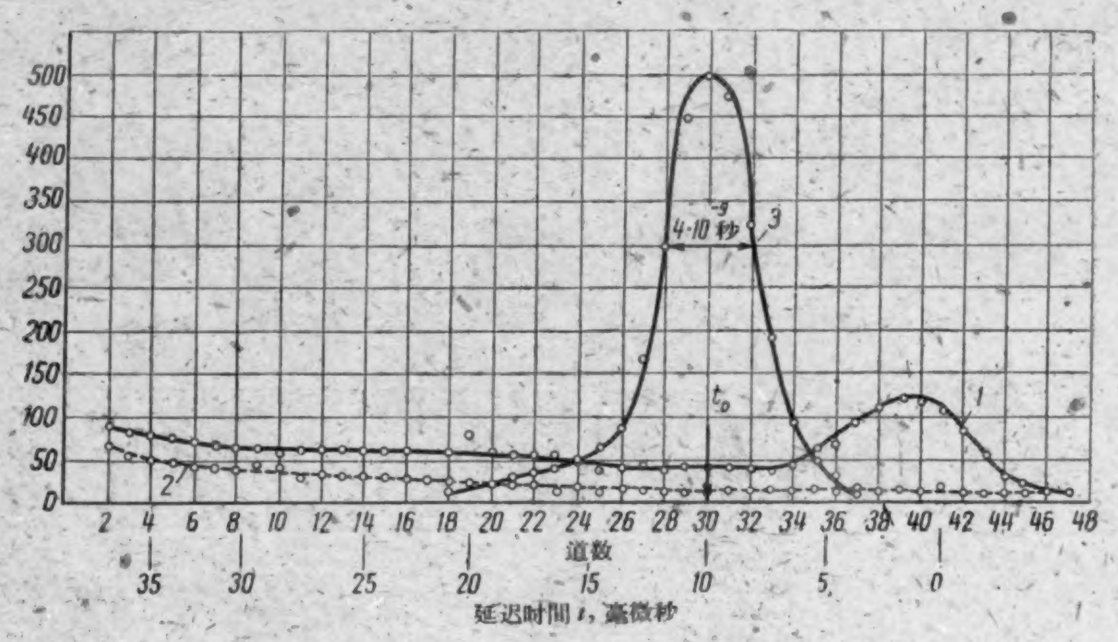


图 2 从样品 U^{238} 中所产生的 γ 射綫与次級中子的时間分布

从 γ 探测器的光电倍加管的第 12 个二极管給出的脉冲，經过放大器及被时間分析器所控制的綫性过滤綫路，輸入到 50 道振幅分析器上．过滤綫路仅仅是用于当能量为 14 兆电子伏中子与鈾相互作用后所产生的 0—10 毫微秒时間間隔内的脉冲（在所选择的几何条件下，能量为 14 兆电子伏的中子从样品到探测器經过时間約为 13 毫微秒）．

在綫路被控制时間内，观察到从 γ 探测器出来的小振幅脉冲的錯誤計数，这主要是由于时間分析器輸入綫路上的小振幅脉冲形成得低劣所造成[2]．对此錯誤計数进行修正，并比較 γ 探测器直接得到的 14 兆电子伏中子所給出的脉冲振幅分布与相同中子在綫路控制时 α-n 符合中所得的振幅分布．

振幅分析器道的能量刻度是根据 Cs^{137}，Co^{60} 及 RaTh 的 γ 量子作出的．为了計数振幅分析器輸入端的大能量 γ 量子，曾对此脉冲振幅加以限制，因此，在振幅分析器后面道中，出現上限峯．

在作仪器譜时，計算偶然符合本底，且对小振幅范围内綫路的錯誤計数加以修正．譜綫被分为相等能量間隔（$\Delta E = 60$ 千电子伏）．对每个間隔的 γ 量子，振幅分布成矩形[3]（这种近似的可能性可以通过测量 Cs^{137} 与 Co^{60} 的振幅分布加以証明）．間隔內 γ 量子的数目决定于晶体效率（应等于蒽的效率[4]）及在样品中的自吸收（在此情况下，譜綫的減弱沒加考虑）．

曾对直径 100 毫米厚 3，8 及 11 毫米的三种圓形鈾样品做过实驗．得到令人滿意的彼此一致的测量結果．在 0.4—2.8 兆电子伏范围内的 γ 輻射譜（对三个样品取平均）繪在图中．γ 射綫的平均能量（考虑到上限峯上的 γ 量子）等于 0.98 兆电子伏（在作仪器譜时，上限峯由面积等于峯的面积的三角形分布所代替，而且在此方法中大約相当于总 γ 量子数的10％的計数）．在测量 γ 譜时，能量分辨率对 $E_\gamma = 662$ 千电子伏約为 30％，对 $E_\gamma = 2.62$ 兆电子伏約为 15％．

一次相互作用的 γ 量子平均数

1) 还采用另一种测偶然符合本底法，即將样品放在束綫之外，距 γ 探测器与靶子有相同距离处（如测效率时一样．其結果与引入 $\Delta t_1 = 75$ 毫微秒的延迟符合一样．

$$\bar{\eta}=\frac{N_\gamma}{AN_n[1-\exp(-\sigma n_0 h)]}$$

式中 N_γ 为总輻射中的 γ 量子数；A 为实驗几何常数；N_n 为到达样品的总中子流量（决定于 α 粒子数）；n_0 为1厘米^{3}的原子核数；h 为样品的有效厚度；σ 为中子与 U^{238} 所給出的 γ 量

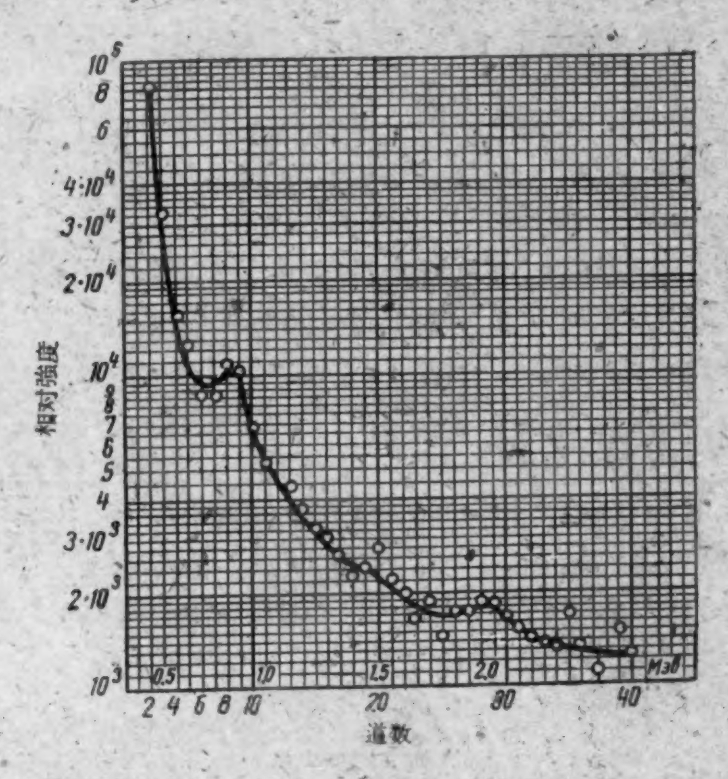


图 3　U^{238} 在能量为 14 兆电子伏中子的作用下所产生的 γ 輻射譜

子的非弹性相互作用的总截面．对 $\sigma=2.85$ 靶来說，$\bar{\eta}$ 值等于 6 ± 1.2．曾考虑到次級中子与样品相互作用所引起的 γ 量子的修正，并且以矩形分布代替单能 γ 量子的实际脉冲振幅分布．$\bar{\eta}$ 的誤差由 γ 譜的能量刻度的誤差，实驗几何条件的誤差以及估計上限峯中 γ 量子数的誤差所决定．

作者深深感謝玆亚特尾娜(Ю. С. Замятнина)参加此項工作的討論和科卡烏拉娜 (В. Г. Кокоулина)制备大晶体均二苯乙烯晶体对此項工作的帮助．

参　考　文　献

[1] В. М. Горбачев, М. И. Казаринова: Приборы и техника эксперимента, № 4, 20 (1957).
[2] А. И. Веретенников, В. Я. Аверченков: Приборы и техника эксперимента, № 3, 48 (1958).
[3] I. Sharpe: Nuclear Radiation Detectors. London, Methuen Co. LTD, 1955, p. 18.
[4] Дж. Биркс: Сцинтилляционные счетчики. М., Изд-во иностр. лит., 1955, стр. 89.

在氦的温度下氦的閃爍現象的研究

格夫里洛夫斯基（Б. В. Гавриловский）

由于在文献[1]中已提出为测量快中子极化用的高压氦的閃爍体，因而我們还研究了当压力直到80大气压的情况下氦气以及氦气与各种气体的混合物的閃爍光产額。为建造一个有效的极化計就要求閃爍体中气体的压力增加到远远大于100个大气压的数量，这样在技术上存在着一系列的困难。此外，对于文献[1]中所研究的最有效的一种混合气体（氮和氦）来講，閃爍振幅主要与气体純度有关，并随压力增大而一直减小到这样的数值，以至于精确記录能量小于5兆电子伏的中子都成为困难[1]。把閃爍体冷却到低温就可以使閃爍气体的密度大大地增加。在文献[2]中描述了在几十个大气压力下把盛氦的容器冷却到液态氮的温度。

本文研究了冷却到液态氦温的氦閃爍体。在压力不超过氦的临界压力(2.2大气压)时，这种閃爍体的密度可以在很大范围内改变(直到閃爍气体液化)。此外，在这种温度下所有的混合物(包括气体形式的激活剂)都被冻住了，而得到了純度极高的氦。对于密度可在很大范围内改变的、純度十分高的氦气螢光現象机制的研究本身就是十分有兴趣的。

我們利用图1所示的装置对閃爍現象进行了研究。低温恆温器的基本元件是由玻璃制成的，由此就可以直接看到光阴极、容器、光的反射体和α源的相对布置，也可以看到在容器中氦的液化过程。低温恆温器的真空室由鋼的圓柱形室1、玻璃圓柱体3和氦的杜瓦瓶7所組成，杜瓦瓶放在圓錐形薄片上面的圓柱体内。低温恆温器的結构是可以拆开的，这样就保証可以迅速更換装有閃爍体容器的氦的杜瓦瓶，也就可以很方便地使用各种形状的容器。为了預先把工业氦純化，特应用由三个内径为25毫米、盛放着活性炭的、U形銅管所組成的配件，并把它放入氮的杜瓦瓶内。在容器中产生的α粒子的閃爍現象由光电倍加管 ФЭУ-14 記录下来，由此产生的脉冲輸入到記录装置和用作测量振幅用的示波器上。光阴极置于盛氮的套桶内，因此就逐漸冷却到氮的温度(ФЭУ-14 的光阴极在冷到−190℃时还保持灵敏[3])。在测量过程中，利用处于张弛振动状态的氖灯 MTX-90 所发出的閃光来检定 ФЭУ-14 的放大系数。来自此灯的脉冲振幅可按照α粒子在晶体 CsI 中激发閃爍时所产生的脉冲振幅进行校正。

在室温、液态氮的温度和液态氦的温度下，研究了氦中产生的閃爍現象。在前二种情况下的脉冲振幅具有下列数值：1）对于室温下的工业氦說来，数量級和 ФЭУ-14 噪音的振幅相同；2）对于工业氦与氮的混合物（0.1% N_2）說来，則比 ФЭУ-14 噪音水平大5—10倍，此相应于 CsI 产額的2%；3）对于室温下的純氦說来，則为1.5%；4）对于純氦与氮的混合物（0.1% N_2）說来，則为3%；5）对于氮温度下的純氦与氮的混合物說来，也为3%。在室温时所得到的結果不經常重复；当−190℃时重复性十分好。对于純氦和混有氮气的氦当压力减小时閃爍振幅改变很小。当压力为15—20毫米汞柱时的光产額为压力为760毫米汞柱时的30—50%。此現象在氮的温度时出現得最为明显。α源离器壁的平均距离为1.5厘米。因此在氦的低压时，α粒子在容器中損耗的能量是不大的。在相应于損耗能量为10—30仟电子伏的压力范围内，閃爍振幅大小为晶体 CsI 在能量5.5兆电子伏的α粒子作用下产生的振幅的2—3%。由此可見，对于氦和氮的混合物說来，当压力小于760毫米汞柱时，光产額比度是增加了，并达到了不亚于 CsI 产額的数值，甚至于超过它。为了記录短射程粒子和反冲核，我們对于阻止本領小的气体閃爍体很感兴趣。

在氦的温度下，气体压力达到了1000毫米汞柱．在图1所示的容器中，氦的液化进行得十分緩慢．我們必須从杜瓦瓶內抽出蒸气以降低温度而来加速此过程的进行．在周围各部分都

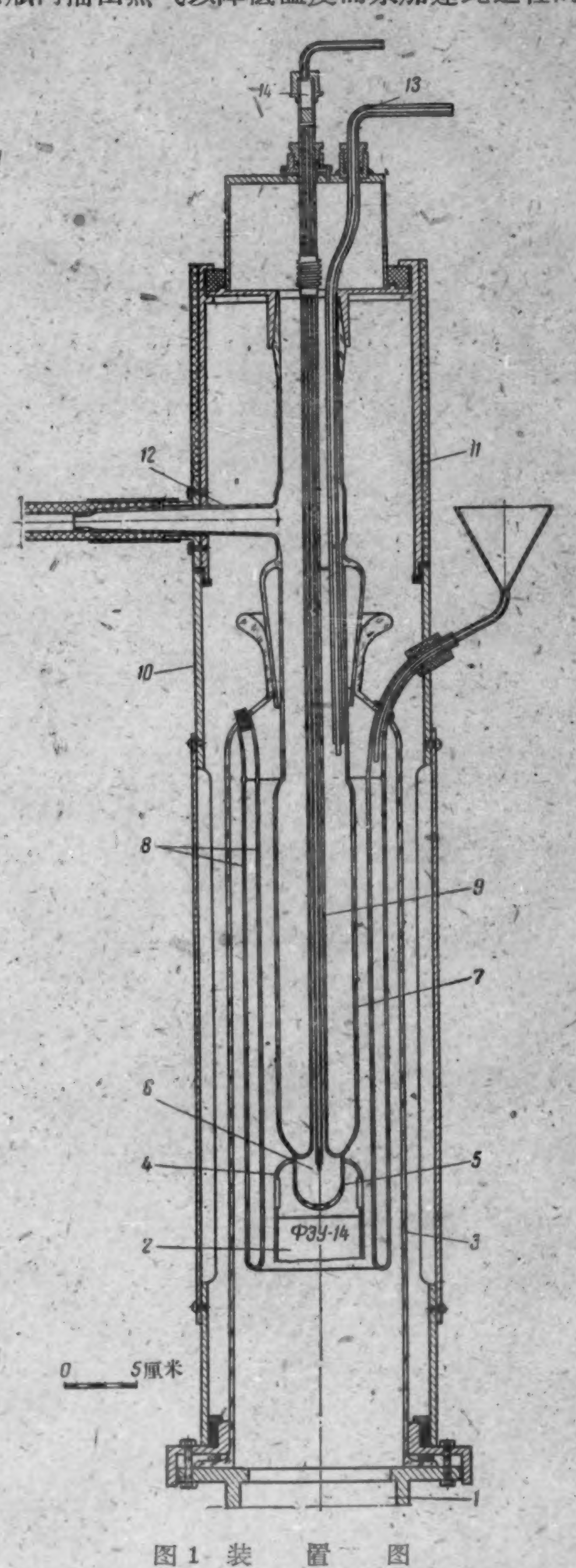


图1　装　置　图

1.鋼室；　2.光电倍加管 ФЭУ-14；　3.玻璃圓筒；　4.反射体；　5.閃爍体容器；　6.点状 α 源；　7.盛氦杜瓦瓶；　8.盛氮杜瓦瓶；　9.通气体到閃爍体內和引入 α 源用的管子；　10,11.可以拆开的 ФЭУ-14 的光屏蔽；12.氦的蒸气汲出道；13.液态氦的通入道；　14.为了利用磁鉄而把放射源从容器中引出的鋼軸．

围以液态氮的、玻璃球形的容器(图 2)对于热区工作很为方便．由于玻璃表面积增大而使光量的聚合比第一种方案差了近 2.5 倍．

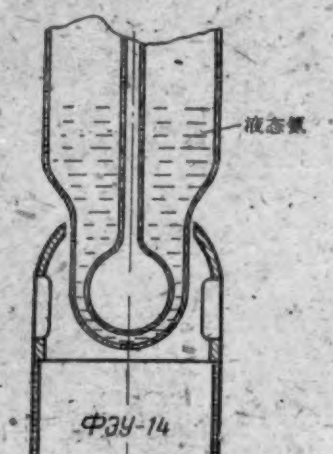


图 2 閃爍体的容器
(第二种方案)

当冷却到氮的温度时，在气态氦中，气体的密度达到了相当于 100 个大气压的数量．在这样一个范围内，光产額在 20—30 大气压下的值极大(为 CsI 的 5%)，并在密度最大值的地方减少了 $1\frac{1}{2}$—$\frac{1}{2}$． 在液体氦内閃爍振幅不超过 ФЭУ-14 的噪音值．当把点源提高到液面上几毫米时，在飽和蒸气中的閃爍現象就变成和气体冷却到液态时的情況相同了．利用工业氦(含有2%混合物)时，閃爍現象具有的振幅几乎和利用純化气体时相同．由于混合物冻在内表面上，所以观察到在容器壁上有混浊現象．由此可見，光产額与最初所用气体純度的关系不大．

我們曾研究了光的轉換体对閃爍振幅大小的影响．在带有光轉換体实驗中，我們利用玻璃球形容器(見图 2)，以眞空蒸发的方法在其內表面鍍了一层厚为几百微克/厘米^{2}的四联苯．四联苯受到在抽空的容器中的 α 粒子的作用后就发閃光，而且閃爍振幅大小比 ФЭУ-14 的噪音水平大好几倍，在温度冷却到氦的 λ 点以下时也不改变．在氦的温度下，四联苯的采用导致閃爍振幅激烈地增大．这样，气态氦的閃爍振幅就大了 2.5—3 倍，而是 CsI 閃爍振幅最大値的 15—20%．

最有兴趣的結果在于：在液态氦中观察到的閃爍現象具有与冷却气体下相同的振幅．当液态氦冷却到低于 λ-点时，光产額仍保持固有的数值．由此可見，当在液态氦中可見光的直接发射被強烈地压制住时，不論在液态氦中或在气态氦中，使发射紫外輻射的激发就起着优势的、大約相同的作用。

利用上述方法也研究了在气态和液态 He^3 中的閃爍現象．把装有预先純化好的 He^3 的瓶子連接到仪器上，并把杜瓦瓶內的氦蒸气抽出以使 He^3 凝結和液化．我們采用了图 2 所示的容器．不論存在着四联苯或沒有光轉換体时，在氮和氦的温度下，He^3 中的閃爍振幅大小都和 He^4 中的大約相同．带有 He^3 的閃爍体不論是对慢中子或对快中子的实驗都是使人感兴趣的．

最后，作者感謝楚克列也夫 (Ф. Е. Чукреев) 和普洛科西 (А. Ф. Прокошин) 参加了最初阶段的工作，彼得洛夫 (А. Г. Петров) 在制造装置过程中給予的巨大帮助，感謝别洛夫 (Н. А. Белов) 制造了低温恆温器的玻璃結头，米哈依洛夫 (К. С. Михайлов) 在其实驗室中制造了四联苯．

参 考 文 献

[1] С. А. Балдин, Б. В. Гавриловский[1), Ф. Е. Чукреев: Атомная энергия, III, № 10, 331 (1957).
[2] С. А. Балдин, Б. В. Гавриловский: Приборы и техника эксперимента, № 1, 144 (1960).
[3] С. А. Балдин, Б. В. Гавриловский, Ф. Е. Чукреев: Доклад на VII конференции по радиоэлектронике (Москва, 1959 г.).

1) 在此文献中，把作者之一的姓名第一个字母印錯了．

鍀的質譜分析和鑑定

庫卡瓦儘澤 (Г. М. Кукавадзе)　伊万諾夫 (Р. Н. Иванов)
麥舍粱柯夫 (В. П. Мещеряков)　謝瓦斯季亞諾夫 (Ю. Г. Севастьянов)
基里亞諾夫 (Б. С. Кирьянов)　加尔科夫 (В. И. Галков)
斯米尔諾夫-阿維林 (А. П. Смирнов-Аверин)

在門捷列夫周期表中，原子序数为 43 的元素——鍀——引起人們很大的兴趣[1,2]．这是因为鍀在反应堆建造工程上或其他工业部門内，可以用作抑制剂[3,4]．

放射化学研究上所用的少量鍀，一般用中子、質子或氘核去照射鉬而获得．已經有一系列已知的鍀的同位素．原子序为 97，98 和 99 的同位素均为长寿期．其中最后一个的半衰期等于 2.2×10^5 年[5,6]，是鈾和鐠在堆内的分裂产物，其产額相当大(約为 6.5%)[7]，因此堆内的释热元件中积聚了很多鍀[9]．

在分析鍀时，要把鍀和其他相邻的元素区别开来是极其重要的．这些元素在裂变中也产生鋯，鈮，鉬和釕．用化学、射綫測量和光譜分析的方法(单独使用)有时不能获得一个单一的結果．質譜分析法与上述測定鍀的方法結合起来就能得出很好单一的結果．

对第一个原子发电站反应堆上的用过之释热元件的同位素組成进行研究的过程中[1)]，曾采用萃取法分离鍀．

所得到的鍀的样品，不仅用分光光度法、射綫分析法和发射光譜法来进行鑑定，而且用質譜計进行了研究．

在本文中将叙述作者所拟定的并用来进行質譜分析鍀的一种独特的方法．

工作是在 МС 型質譜計上进行，用的是 60° 的扇形磁場，其暗箱弯成半径为 150 毫米的圓弧．离子流的接受器是直流放大器，它可百分之百的反饋，这个放大器能測量 10^{-14} 安培的离子流，也可以用鋁鎂合金制成的二极管电子倍增器．采用鋁鎂合金制的二极管可以使离子流接受器的灵敏度提高到二个数量級以上．采用热离子源作为离子源．这种离子源是基于：在白熾的难熔合金的发射极上，被研究物質的分子有表面游离的現象[8]．选择这类离子源来完成任务的理由是：在表面游离的情况下，由于离子源部件的析气以及前一个样品和剩余气体的沾污所引起的背景与气体源或加热源所形成的背景相比較，将大大地降低．这就可以去除譜綫的重迭現象，并保証优良的分辨能力．但是，如实驗所示，在一般用作热离子源的白熾的鎢发射极上是不能形成鍀离子的．显然，电子对鍀原子的亲和力是大于对鎢的原子，这就促使鍀以中性原子蒸发出去，而不是以正离子蒸发出去．

某些国外的作者在进行鍀的工作时，采用了鉉作为发射极．在我們工作的情况下，采用鉉发射极并沒有获得令人滿意的結果．原因是由于我們用鉉箔所制得的发射极在沒有达到鍀蒸发所需之温度以前已經燒完了．

本文利用鎢作为发射极，在极上用电子轰击法噴上了一层厚度为 0.1 微米左右的鉉薄层．

用带有刻度的微量移液管把过鍀酸銨的水溶液滴到用上面描写的方法所制成的发射极上去．然后在氫气中把发射极燒至紅熾大約为几分鈡，鍀就还原为金属的鍀．

---

1) 参加分离鍀工作的有蓋尔里特 (Ю. Б. Герлит) 和卡普斯金 (Д. С. Капустин)．

用这种方法所处理的样品和离子源放入质譜計，在 1600—1800°C[1]) 时就产生 Tc^+ 的离子.

图 1 中表示了鎝(质量数为 99) 和銣 (质量数为 87 和 85)的質譜图. 銣是試射点并且由于銣是铼中的杂质，在发射极上常常出現銣. 图 2 列出“空白”实驗的質譜图. 在这种情况

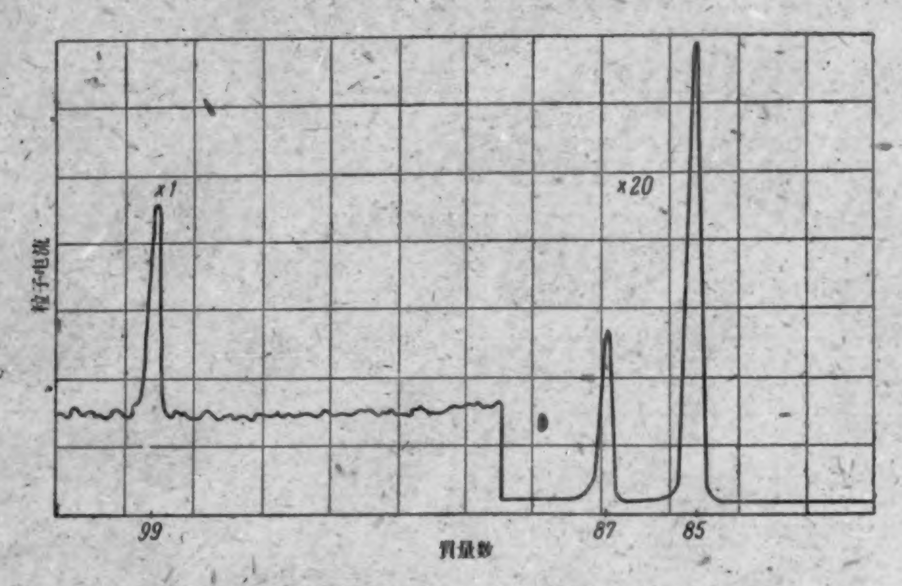


图 1 当发射极温度为 1900°C 时鎝和銣的質譜图

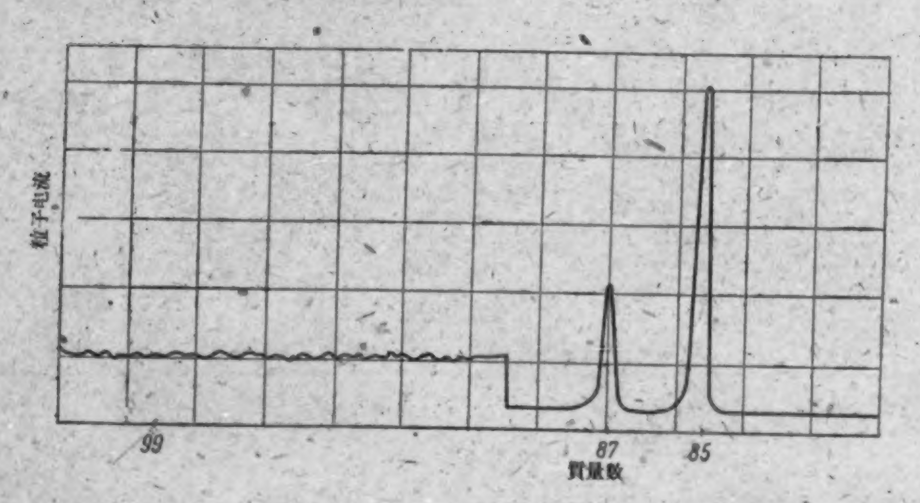


图 2 当发射极溫度为 1900°C 时,在与图 1 同样的質量数范围內“空白”实驗的質譜图

下,在发射极上放置了所有用过的試剂，这些試剂正是用来进行鎝的化学分离，然后发射极再在氫气流中进行处理.

利用此法与同位素稀释法[11-13]和测定元素浓度的积分質譜法相結合，就可以进行鎝的定量分析. 同时也可以研究一系列鎝的化合物和测定鎝的某些热力学常数.

作者認为应当对茹拉芙列娃 (В. Г. Журавлева) 曾为本工作制备发射极而表示感謝.

参 考 文 献

[1] Ю. Б. Герлит: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 7. М., Госхимиздат, 1958, стр. 183.
[2] Викт. И. Спицын, А. Ф. Кузина: *Атомная энергия* **5**, вып. 2, 141 (1958).
[3] G. Cartledge: *J. Phys. Chem.*, **59**, 979 (1955).
[4] R. Sympson, G. Cartledge: *J. Phys. Chem.*, **60**, 1037 (1956).

1) 发射极的溫度在单独的真空装置內用光学高温計测得.

[5] S. Fried, A. Jaffey, N. Hall, L. Clendenin: *Phys. Rev.*, **81**, 741 (1951).
[6] G. Parker: ORNL-870, March 1951.
[7] H. Fickel, R. Tomlinson: *Canad. J. Phys.*, **37**, 916 (1959).
[8] Р. Н. Иванов, Г. М. Кукавадзе: Приборы и техника эксперимента, № 1, 106 (1957).
[9] G. Boyd, J. Sites, Q. Larson, C. Baldock: *Phys. Rev.*, **99**, 1030 (1955).
[10] M. Smith: Electromagnetially Enriched Isotopes and Mass Spectrometry. Proceeding of the Conference Held in the Cockroft Hall. Harwell, 1955, p. 152.
[11] M. Inghram: *J. Phys. Chem.*, **57**, 809 (1953).
[12] Г. М. Кукавадзе, М. П. Аникина, Л. Л. Гольдин, Б. В. Эршлер: Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии (заседания Отд. хим. наук). М., Изд-во АН СССР, 1955, стр. 205.
[13] Г. М. Кукавадзе: *Ж. физ. хим.*, XXXIII, 1436 (1959).
[14] В. К. Горшков: Приборы и техника эксперимента, № 2, 53 (1957).

在小 *Pe* 值下对鈉的放热

彼罗戈夫 (М. С. Пирогов)

本文引入了在圓銅管 ($d_{вн}=28$ 毫米，$\delta_{ст}=4$ 毫米)内 P_e 数范围 $=17—416$ 时对鈉放热的試驗結果.

实驗管段的结构示于图 1．装在实驗管段上的热电偶在它装設的地方用鉑銠热电偶校准．实驗管段垂直地安装，鈉从下向上流动．鈉里含氧的重量比是 0.0056%．

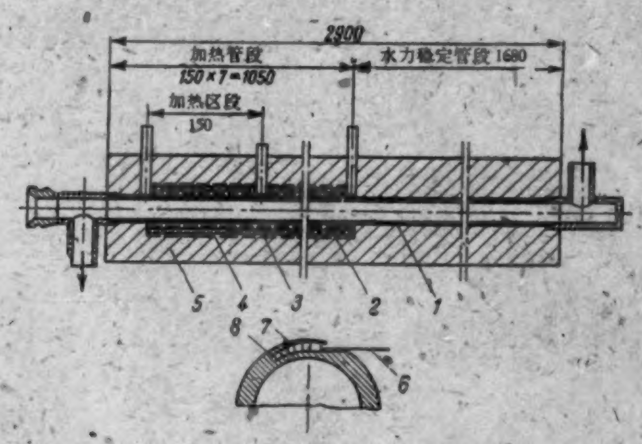


图 1 实驗管段

1—銅管； 2—加热器； 3—溫度計； 4—补償加热器； 5—热絕緣；
6—热电偶； 7—瓷管； 8—銅銷．

所有試驗都在安装工况下測量了下列数据：固定在管壁上的热电偶的电动势、加热器的电功率和鈉的流量．所有試驗中热損失都按溫度計的讀数用特殊加热器給以补償．鈉的溫度 $t_{вх}$ 和 $t_{вых}$ 相应用装設在加热管段前后管壁上的热电偶測量．

用溫度探針所作的特別測量表明：在这些管段上鈉流的溫度是均匀的．在稳定換热管段处由管壁向鈉的放热系数用下列公式計算：

$$\alpha_x=\frac{q_x}{(t_{ст}-t_{Na})_x}. \tag{1}$$

考虑热量沿管壁和鈉的軸向流动，在 x 截面上的鈉的溫度用下列公式确定：

$$\bar{t}_{Nax}=t_{вх}+\frac{\pi q d_{вн}}{GC_p}x+\left[\frac{\Delta t}{\Delta l}\right]_{ст}\left(\frac{\pi d_{вн}^2\lambda_{Na}}{4GC_p}+\frac{\pi d_{ср}\delta_{ст}\lambda_{ст}}{GC_p}\right), \tag{2}$$

式中$\left[\frac{\Delta t}{\Delta l}\right]_{\text{ст}}$ ℃/米——在稳定換热管段处沿管軸綫的温度梯度,在所有試驗中它都按壁温測定.

在所有試驗中,实驗管上的单位热强度等于 ~80000 大卡/米^2·时. 管内鈉的流速由 0.04 变到 1 米/秒, Re 数由 2300 变到 7000, 温度降$(t_{\text{ст}}-t_{\text{Na}})_x$ ——由 5 到 3.5℃, 放热系数——由 16000 到 28000大卡/米^2·时℃.

用相似准則 $Nu=f(Pe)$ 加以整理的試驗数据示于图 2.,幷与其它文献[1,2]中的数据作了比較.

在整个所研究的 Pe 数范围内, 得到的实驗数据都与下列 $\varepsilon=1$ 时的馬尔契涅里-萊翁

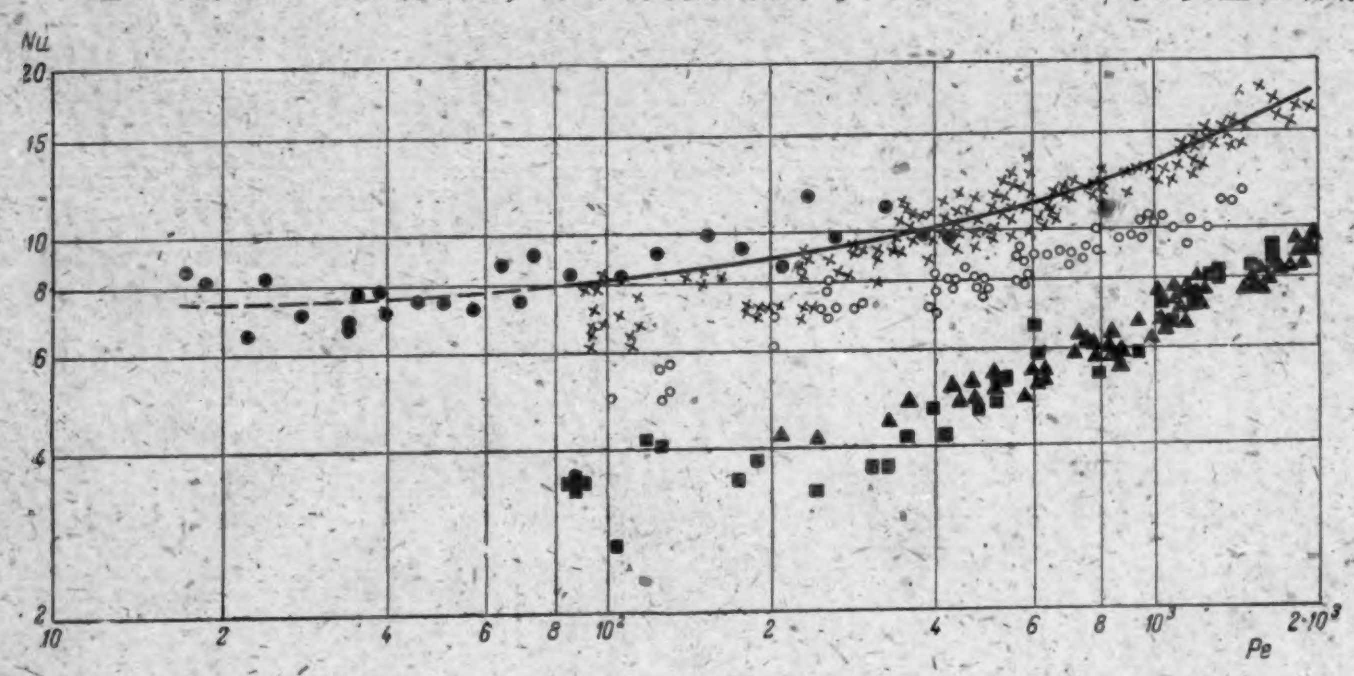


图 2 实驗数据的比較(曲綫——$\varepsilon=1$ 时的馬尔契涅里-萊翁理論):
×——文献[3]中的数据 (Na—K; Hg);
▲——苏联科学院动力研究所的数据(Na);
■——中央鍋炉汽輪机研究所的数据(Na);
○——工程物理学院的数据(Na)[1];
●——作者的数据.

公式相符合:

$$Nu=7+0.025(Pe\ \varepsilon)^{0.8}, \tag{3}$$

同时,当 Pe 数> 100 时,也与基利洛夫 (П. Л. Кириллов) 和苏包京 (В. И. Субботин) 等的試驗[2]相符合.

本工作中得到的試驗数据不能証实許多作者提出的、认为在小 Pe 值范围内放热将很快变坏的看法.

参 考 文 献

[1] С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский, И. И. Новиков, О. С. Федынский: Жидкометаллические теплоносители. Приложение № 2 к журналу «Атомная энергия». М., Атомиздат, 1958.

[2] П. Л. Кириллов, В. И. Субботин, М. Я. Суворов, М. Ф. Троянов: *Атомная энергия*, 6, вып. 4, 382 (1959).

在簡单的离子交换柱中分离鋰同位素

潘切柯夫(Г. М. Панченков)　庫兹湼佐娃(Е. М. Кузнецова)　科兹洛夫(Л. Л. Козлов)

在研究离子交换法分离同位素的过程中，当确定了单級的分离系数之后，我們适当地試驗了簡单的离子交换柱．在类似的实驗中有人利用了液前分析法或置换冲洗法[1]．在第一种情况下，通过 10 米高的填有鈉沸石的柱中，以每秒 2—3 毫升的速度流过 3% 的氯化鋰溶液．最后在柱頂鋰同位素的最大比值达 13.3，代替了开始时的 11.6．在第二种情况下，在填有鈉沸石的 30 米高的柱中获得了較好的結果．在頂部得到 Li^7/Li^6 的比值为 14.1，在底部是 8.8．

在文献[2]中作出了影响同位素分离过程条件的理論分析．实驗之一是在填有粒度为 1.5×10^{-3} 厘米的 Цеокарб 阳离子交换剂的长度为 90 厘米的柱中完成的，以每秒 $4\cdot10^{-4}$ 毫升的速度流过柱的是 1*N* 的醋酸鋰溶液．第一次 Li^7 的浓集部分的分析得到了同位素比值达 199，原来是 12.2．以后沒有人再能重复相似的結果．当在 1.5 米的柱中洗提鋰时，其頂部 Li^7 同位素含量为 94.6%（重量百分比），其底部为 89.6%（重量），代替了开始时的含量 92.47%（重量）[3]．在填有 Цеокарб 阳离子交换剂的 40 厘米高的柱中在 80% 丙酮中对鋰同位素分离作了初步的实驗，当以氯化鉀溶液来冲洗鋰时，使鋰同位素成份的变化并不显著[4]．在頂部及底部同位素比值与初始的比值 11.52 相比分別为 11.62 ± 0.03 和 11.23 ± 0.03．

在最近的文献中[5]，在应用离子交换法分离鋰同位素方面，研究了在填有 Дауэкс 50[1)] 和 IRC 树脂的柱中用硫酸和盐酸溶液，氯化銨和乙烯二胺四醋酸銨溶液来洗提鋰．可惜在这工作中沒有得到总分离系数值．单級的分离系数理論計算值是在 1.001—1.002 的范围中[6]．

从上面所述可以看到，用普通的离子交换过程，不可能得到或多或少較大量的浓縮物質．

更有兴趣的是离子交换过程的逆流法，但是它的实現碰到了实驗上的巨大的困难．此法的理論分析及在进行元素分离时柱的工作情况在文献[7,8]中有所叙述．

为了在簡单的离子交换柱上研究鋰同位素的分离过程，我們利用了各种盐的溶液以及氫氧化鋰的溶液．实驗中过滤的速度在 1.5×10^{-3} 到 5×10^{-3} 毫克/秒范围内变化．初始溶液的浓度保持同样的为 0.5 *N*．这个溶液的同位素比是 11.7．作为离子交换剂的是粒度为 $(1.7—2.5)\times10^{-2}$cm 的氫型硫化碳．获得的数据列于表 1．

表 1　在离子交换柱中分离鋰同位素

溶　液	柱高，厘米	临界体积，毫升	样品的同位素比值	总浓縮系数
LiCl	230	115	13.3	1.13
$Li_3C_6H_5O_7$	227	375	14.4	1.23
$LiC_7H_5O_2$	225	420	14.1	1.20
LiOH	231	695	14.2	1.21

假若鋰盐溶液經过柱过滤，当流过不同体积的初始溶液时，发現鋰离子的最初微量与所用的盐有关．到出現鋰的最初微量为止，溶液的体积依照下列程序增长．即氯化物——檸檬酸盐——苯酸盐——氫氧化物．假如以形成酸的游离常数的負对数作纵坐标，而横坐标表示临

1) 譯者注，Дауэкс 即 Dowex 50X12 树脂．

界体积的大小，即流过临界体积以后就出現鋰的最初痕量，这样就得到近似的直綫。显然，根据相似图形(图1)可以在相同条件下确定不同鋰盐溶液的临界体积。在表1列举出临界体积值。

有趣地发現，在表1中所列出的实驗溶液都是用重同位素鋰(Li^7)浓縮。当过滤速度从1×10^{-3}到5×10^{-3}毫升/秒变化时，总的分离系数实际上沒有变化。

用丁醇代替水的介质幷沒有发現对浓縮系数有显著的影响。用在80%丁醇溶液中的氯化鋰通过224厘米高的柱，溶液流速的变化范围从5×10^{-3}到15×10^{-3}毫升/秒，总浓縮系数由1.11增长到1.13。

除上述的試驗外，也进行了关于置换色层分离法的試驗。为此利用1.2N盐酸和草酸溶液。得到的数据列于表2。从表1及表2比較可以看出，置换色层法的結果与液前色层法的結果是接近的。

为了进行逆流离子交换过程，要按照图2所示的系統制作交换柱。湿的氫型硫化碳填满柱上部的料斗1，由下面經过管3在1.2大气压力下通入氯化鋰的溶液，可以借助于夹子7調节供給的速度，幷用流量計来测量。

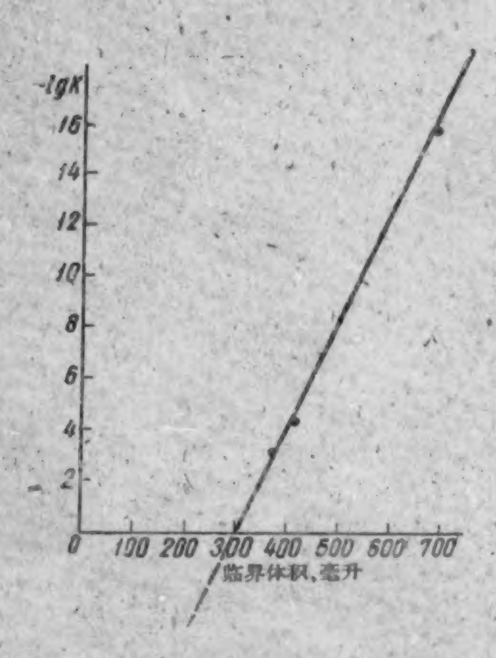


图1　临界体积与形成酸的游离常数K的关系

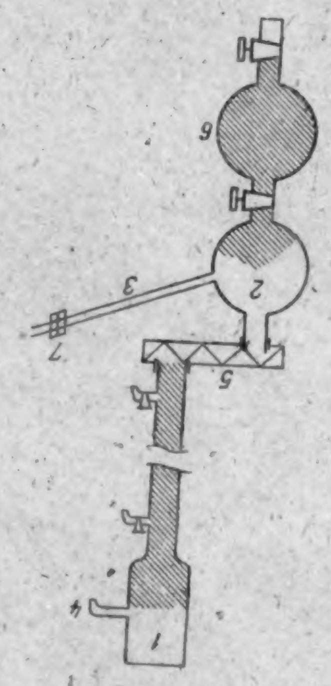


图2　逆流离子交换柱

表2　用酸置换鋰

酸	柱高，厘米	过滤速度($\times10^{-3}$)毫升/秒	样品同位素比值	总浓縮系数
$H_2C_2O_4$	214	5	14.0	1.19
$H_2C_2O_4$	214	1.5	13.2	1.13
$H_2C_2O_4$	100	5	13.5	1.15
HCl	220	1.5	14.3	1.22

溶液流过柱子幷由上面料斗的支管4引出。硫化碳在柱上部的水平是不变的，而在重力作用下往下降，它移动的速度是由旋轉蝸杆5来調节。用过的碳从下面落到料斗2中，幷根据需要轉倒入料斗6中。为分析用的試样可从沿着柱装置的四个活塞中取出。

在上述試驗中，工作物是0.0125N的氯化鋰溶液，以0.25毫升/秒的速度供給，而相对的

离子交换剂是以 1.9×10^{-2} 毫升/秒的速度移动.

經2小时后,工作达到稳定状态,結果沿着柱的鋰离子浓度分布不变化了,在5小时内稳定性不破坏,则为鋰同位素质譜分析用的样品可在离开柱头70和100厘米处取出,Li^7/Li^6 之比是12.6及13.3代替了起始的11.7.

柱是按照剩余法工作的,因此只有起始原料的3%是分离了.

我們認为柱按照下列方式工作較为合理:鋰由柱底部引入,顺着柱向上移动,而树脂向下运动.在稳定状态下柱的一小段上所得的結果,相应地也可以在柱的无限长范围中获得.

比較一下根据单級的分离系数試驗所得的数据[9]和以氫氧化鋰及苯甲酸鋰所作試驗中重同位素于溶液浓集的柱的工作数据,可以用倒置过程来說明单級分离系数与浓度有关.

实际上,在按照液前分析法进行的这个实驗中,由于不可逆反应伴随着生成水及难溶的苯甲酸,溶液浓度随着它通过柱而減小. 这即是浓集系数比較小的解释. 用氯化鋰作的試驗数据彼此是十分符合的.

参考文献

[1] T. Taylor, H. Urey: *J. Chem. Phys.*, **6**, 429 (1938).
[2] E. Glueckauf, K. Barker, G. Kitt: *Disc. Faraday Soc.*, **7**, 199 (1949).
[3] J. Grosse: AECD Report No. 295229 (1950).
[4] C. Davies, B. Owen: *J. Chem. Soc.*, **6**, 1676 (1956).
[5] F. Menes, E. Saïto, E. Roth: Proc. Symp. Separ., Amsterdam, 1957.
[6] S. Mayer, E. Tompkins, *J. Amer. Chem. Soc.*, **69**, 2869 (1947).
[7] G. Dickel, K. Becker: *Chem. Ing-Techn.*, **28**, 529 (1956).
[8] G. Dickel: *Z. Elektrochem.*, **54**, 353 (1950).
[9] Г. М. Панченков, Е. М. Кузнецова, О. Н. Казнадзей: *Атомная энергия*, **7**, вып. 6, 556 (1959).

在林区进行航空 γ 普查的某些特点

卡捷里尼可夫 (Г. Н. Котельников)　卡良金 (Н. И. Калякин)

进行航空 γ 普查时,往往对林植区的高屏蔽作用的特性估計不足. 結果使鈾矿床漏掉,而圈出的却是大量的假异常.

本篇报导以确定有鈾矿化的地区为实例,来研究森林复盖层的屏蔽作用特性对航空 γ 普查鈾矿床成果的影响.

1. 矿床位于絕对标高400—500米、相对高差100—150米的地区. 区域内被茂密之杂林和灌木丛所复盖. 地面露头良好.

航空 γ 普查 (АН-2 型飞机, 使用 АСГМ-25 型探测仪) 系按 1:25000 之比例尺来进行,飞行高度为60米. 在一条普查测綫上发現一个強度峯为17微伦/小时的点状(局部)异常(底数为4微伦/小时). 經过詳测 (比例尺 1:10000, 飞行高度30米), 发現异常之強度峯在两条测綫上为17—18微伦/小时,在另一条测綫上为7微伦/小时.

在航测成果图上异常的延展长度为300米,寬30—40米. 对該单独航测异常地区継續进行了地面 γ 普查, 結果查明有三条互相間隔300—500米的平行矿带 (图1). 主矿带 (一部分即在空中所发現) 的延展长度为2000米. 地表之鈾矿体呈单独的点状出露,其面积由1至

1200 米² 不等，γ 輻射強度为 50—1500 微伦/小时（围岩底数为 6—7 微伦/小时）．异常面积的含矿系数为 30% 左右．除基岩露头外，在主矿带地区，約在 80000 米²的面积内尚見有矿石物质堆积(块体达到 10 米³，強度 50—1500 微伦/小时)．这些未被航空 γ 测量发現之矿石堆积及主矿体之两翼，出露极好，只是埋藏在茂密的大片树林内．所发現的异常区的特点是无树林，有少許灌木丛，地形較高．

进行航空 γ 测量时，輻射強度較高的大块地区被漏掉的原因是由于森林具有高屏蔽作用的特性．这点可用下面的計算数据証实．在区域內树的高度 $l=33$ 米、树干直径 $H=36$厘米、木質比重为 0.8 及樅树尖、枝、叶的重量与树干的重量相等的条件下，树木的总重量 $P_1=(v_1\cdot 0.8)\cdot 2=(gmHl\cdot 0.8)\cdot 2=2.705$ 米[1,2]（v_1——树干体积；gm——树的視見数量；2——樅树尖、枝、叶的重量的修正系数)．如果森林密度为 1 株/10 米²，則分布密度 $d=\frac{2705}{10}=270.5$ 公斤/米² = ~27 克/厘米²．

飞机上接受器对于寬 γ 輻射束的吸收，由下面公式表示：

$$I=I_0\Phi(\mu d),$$

式中 $\Phi(\mu d)$——琴格(Кинг)函数，I_0——地面上之輻射強度．

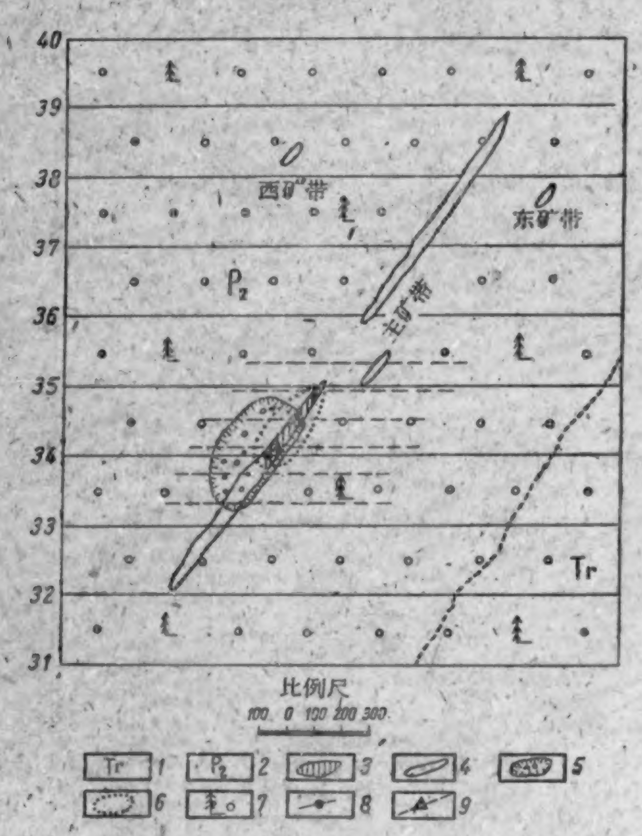


图 1 1 号异常略图

1—第三紀粗粒砂岩；2—上二迭紀碳质泥质頁岩；3—根据航空 γ 测量結果圈定出的矿带；4—根据地面 γ 測量結果圈定出的矿带；5—矿石堆积带；6—无树木生长区輪廓；7—松柏类森林(樅、松)；8—航空普查綫路及异常点，比例尺 1:25000；9—航空詳測綫路及异常点，比例尺 1:10000．

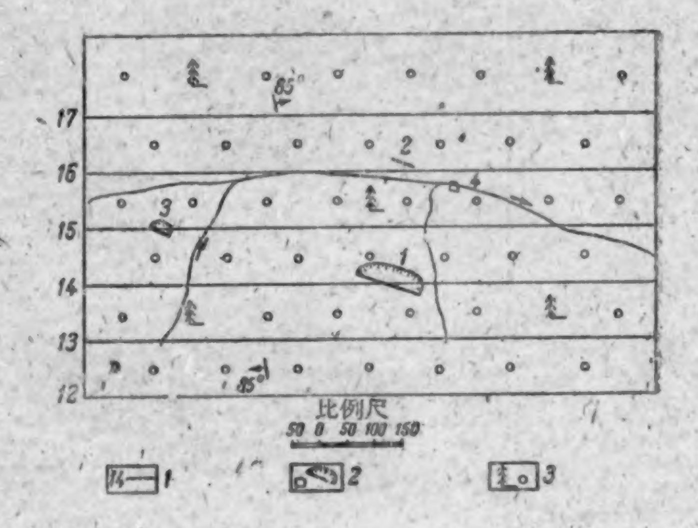


图 2 2 号异常略图

1—航测綫路；2—含矿段及矿石堆积之范围；3—松柏类森林．

树木減弱 γ 輻射的有效质量系数 $\mu=0.04$ 厘米²/克[3]；所以 $\Phi(\mu d)=0.13$，因此，$I=I_0\cdot 0.13$，即所吸收的未被屏蔽掉的 γ 輻射为 13%．

所以，87% 的 γ 輻射由于森林的屏蔽作用而被吸收掉．如果以 γ 輻射強度在高空 50 米、面积 1200 米² 的条件下降低至地面強度的 4% 而計，并加含矿系数 30%，則得出，进行記录所

必須的最低強度値为 1540 微伦/小时．实际上矿带的两翼和矿石堆积在地面上的 γ 輻射強度未超过 1500 微伦/小时，所以它們从空中被漏掉是理所当然的了．

2. 在絕对标高 1100—1600 米、相对高差 300—500 米的地区进行了比例尺 1:25000 的地面 γ 普查和加密航測綫的比例尺 1:10000 的航空 γ 普查．区域被密实的樅林所复盖．由于強烈之切割，地面露头极好．

热液鈾矿床由四个矿段組成，其面积为 500×300 米，为地面普查所发現．三个矿段中的矿体呈脉状，另一矿段的矿体呈层状．等 γ 值为 300 微伦/小时的异常区的面积为 150、800 和 4000 米^2（基岩露头和矿石堆积）．个別岩块及矿块的強度超过 10000 微伦/小时．

垂直矿体构造所进行的普查飞行（АН-2 型飞机，СГМ-10 型探測仪，高度 70—80 米），在空中未发現任何含矿地段．直接在矿区中心上空按不同方向所进行的几次飞行同样得到的也是否定的結果．

根据柯崗（P. M. Коган）标准曲綫进行的計算表明，在估計到樅林屏蔽作用特性的条件下，为了从空中圈定 1 号和 3 号矿带（图 2）所須的平均強度应分别达到 1450 和 8000 微伦/小时．而实际強度只有 300—500 微伦/小时．所以异常未被圈出．

3. 在地层由含鈾克拉克值較高的前寒武紀片麻岩和古生代侵入岩所构成的林区（地面底数为 15—40 微伦/小时，空中的底数为 6—7 微伦/小时）按比例尺 1:25000 进行的航空 γ 普查发現一組点状（局部）异常，強度为 12—15 微伦/小时．为了进一步查明，对异常区进行了摄影测量．全部异常分布于林中空地或砍伐区附近，并沿同一方向錯动 200—400 米（由于仪器的惰性所致），无树林屏蔽．經地面检查証明异常不含矿．

表内是林植物对 γ 輻射吸收的計算数据的实例．計算时应用了木材体积、重量及每公頃内树的棵数等参考数据[1,2,4]．枯树、倒毙的树及灌木丛的屏蔽影响未予估計．与树干分布特点有关的介质的极不均匀性也未予考虑．計算树林的分布密度时，就某些地区而論，树木的数量可以不予估計；分布比較均匀的树頂、針叶和草叢的数量（占总数量的 30—60%）也可忽視不計．

林植物对于 γ 輻射的吸收

树　別（森林）	森林年代（年）	每公頃内棵　数	每公頃树林之总重量(吨)	屏蔽总厚度(克/厘米²)	$\Phi(\mu\cdot h)$值(μ=0.04)(厘米²/克)	γ 輻射之吸收(%)
樅　树	40	3123	8844	89.7	$0.56\cdot10^{-2}$	99.5
	60	1509	3996	41.2	$6.0\cdot10^{-2}$	94.0
	100	700	2934	30.5	$10.9\cdot10^{-2}$	89.1
松　树	40	3000	3560	36.8	$7.5\cdot10^{-2}$	92.5
	60	1200	2485	26.0	$13.8\cdot10^{-2}$	86.2
	100	560	1737	18.6	$22.2\cdot10^{-2}$	77.8

甚至在引用上述修正系数时（0.3—0.6），各个不同年代的森林的树林屏蔽密度仍然很高，而 γ 輻射的吸收率将在 25—60% 的范围内，因此在林区进行航空普查时可能漏掉工业矿床．

参　考　文　献

[1] Н. Ф. Ляшенко: Справочник по лесозаготовкам. Киев, Изд-во Акад. архитектуры УССР, 1955, стр. 32, 68.
[2] Справочник работника лесного хозяйства. Минск, Изд-во АН БССР, 1954, стр. 180.
[3] Справочник по радиометрии. Под ред. В. И. Баранова. М., Госгеолтехиздат, 1957, стр. 111, 184.
[4] Г. Ф. Морозов: Учение о лесе, изд. 7. М.—Л., Изд-во Гослесбумиздат, 1949.

論在厚度小的吸收介質及散射介質中計算γ射綫积垒因子的准确度問題

彼別尔加里 (А. В. Бибергаль) 列申斯基 (Н. И. Лещинский)

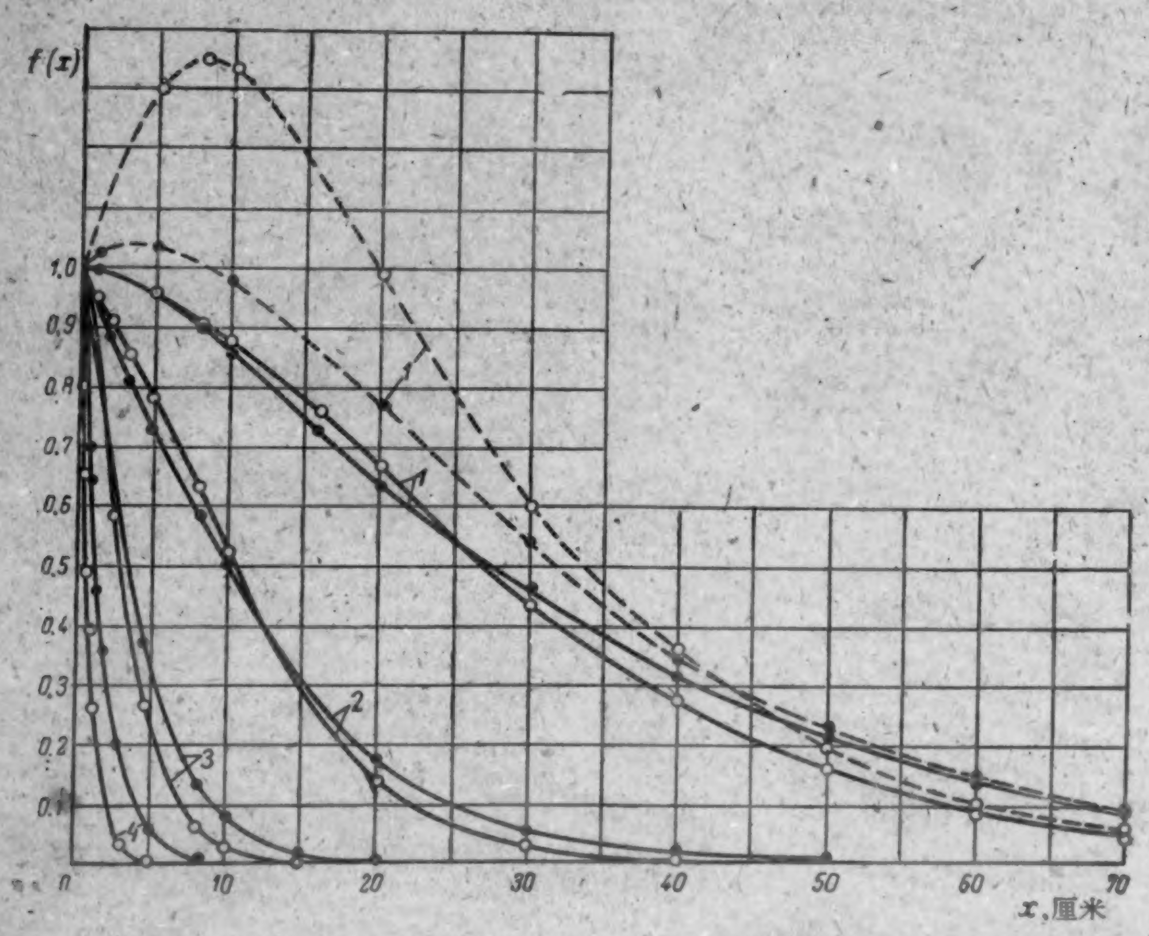
目前認为在吸收介質及散射介質中計算γ射綫积垒因子最可靠的公式是

$$B_0(h\nu,\mu_0 x,z)=A_1e^{-\alpha_1\mu_0 x}+A_2e^{-\alpha_2\mu_0 x} \quad (1)$$

式中，$\alpha_1,\alpha_2,A_1,A_2$——是根据射綫的各种能量($h\nu$)和吸收及散射介質的原子序数($z$)而选择的常数。这些数据在文献[1]中已指出。$\mu_0$——本介質中窄束γ射綫的綫形減弱系数。$x$——介質层的厚度。

在文献[2]中指出，利用文献[1]中所給出的数据按公式(1)作出的对水的計算結果与对 Co^{60} 射綫的实驗数据[2,3]符合得很好。但是对 Cs^{137} 射綫說来，文献[1]的数据計算結果比实驗数据的数值大得多。

在图中引入了 $f(x)=e^{-\mu_0 x}\beta(h\nu,\mu_0 x,z)$ 的关系，这些关系是按公式(1)文献[1]的系数和文献[4,5]中的数据对 Co^{60} 和 Cs^{137} 射綫在水，鋁，鋼和鉛中的減弱計算而得出来的。从图中可以看出，对原子序数大的材料說来，其結果符合得很好。水的計算結果只有当 $x>60$ 厘米才符合，当 $x<60$ 厘米时，根据公式(1)所計算出的 $f(x)$ 值（虛綫）要比根据文献[4,5]确定出



由于吸收及射散的結果在介質中射綫的減弱

介質：1——水；2——鋁；3——鋼；4——鉛。

- - - - ——根据公式(1)和文献[1]的数据計算的；━━ ——根据文献[4,5]数据的計算；○——Co^{60}；●——Cs^{137}。

的数据特别是对于 Cs^{137} 說来要大的多。

对于厚度小的和低原子序数的材数說来，按文献[1]的数据計算出的結果与实驗数据不符合的原因是在这个区域内公式(1)的系数选择得不准确. 这是因为，所采用的是为計算較厚屏蔽材料的公式用的系数.

为了計算 Cs^{137} 的 γ 射綫在厚度小的材料中的減弱，特别是計算強同位素輻射源的剂量場时，使用文献[2]中的数据較合理，或者按文献[6]中的数据計算. $f(x)$. 文献[6]中的数据与实驗数据的誤差在 ±5% 的范围内. 为小厚度区域内特殊选择系数时同样可以使用公式(1).

虽然与实驗数据符合得很好. 但按照文献[4,5]数据的直接計算是十分复杂的.

参考文献

[1] Г. Геквелл: Защита ядерных реакторов. М., Изд-во иностр. лит., 1958, стр. 300.
[2] А. В. Бибергаль, М. М. Коротков, И. Г. Ратнер: *Атомная энергия*, 7, вып. 3, 244 (1959).
[3] G. White: *Phys. Rev.*, 80, No. 2, 154 (1950).
[4] U. Fano: *Nucleonics*, 11, 53 (1950).
[5] C. Davisson, R. Evans: *Rev. Mod. Phys.*, 24, 79 (1952).
[6] Н. И. Лешинский: *Атомная энергия*, 8, вып. 1, 62 (1960).

平板屏蔽后圓柱形源的 γ 射綫

奥薩諾夫 (Д. П. Осанов)　科瓦列夫 (Е. Е. Ковалев)

在大多数情形下，描写圓柱形 γ 射綫源吸收的方程，都是用簡单的源来代替复杂的源[1]而导出的. 显然这样变换无通用之意义.

由圓柱沿径向发出的 γ 射綫吸收的問題可按下述方法研究，如图1中 A 点的几率可表示为:

$$P = 2P_\gamma qR\int_0^k dn\int_0^r m\,dm\int_0^\pi \frac{d\varphi}{m^2+n^2+p^2-2mp\cos\varphi}\,e^{-\sqrt{m^2+p^2+n^2-2mp\cos\varphi}}\times$$

$$\times\left(\mu_1 R\times\frac{m^2-mp\cos\varphi+\sqrt{m^2+p^2-2mp\cos\varphi-m^2p^2\sin^2\varphi}}{m^2+p^2-2mp\cos\varphi}+\frac{\mu_2 d}{p-m\cos\varphi}\right)=$$

$$= 2P_\gamma qRS(p,\ k,\ \mu_1 R,\ \mu_2 d) \qquad (1)$$

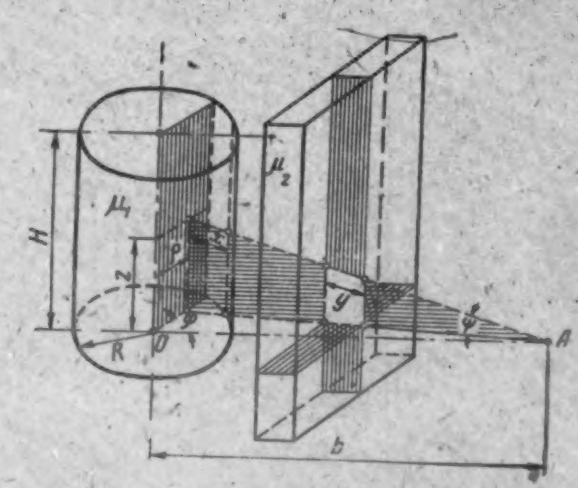


图1　計算平板屏蔽后圓柱形 γ 射綫源用的图

式中 $z = nR$, $\rho = mR$ 和 φ 是以 0 点原点的圓柱坐标系中的积分变数；P_γ 是 γ 常数；q 是比放射性；μ_1 和 μ_2 分别为源物質和屏蔽物質对 γ 射綫的吸收系数；$k = \frac{H}{R}$ 而 $p = \frac{b}{R}$.

表示式(1)基于下述假設之上：放射性物質在整个圓柱体积的范围內是均匀分布的，而每一单位体积源的 γ 射綫又是各向同性和单色的.

数学的任务就在于按照直接环形圓柱体积計算积分——$S(p, k, \mu_1 R, \mu_2 d)$. 該积分在基本函数中无表达式. 为了計算曾在"箭牌"电子計算机上作过此积分. 計算的总誤差在大多数情形下不超过 2%. 曾对下述的参数作过計算：$1.25 \leqslant p \leqslant 10$；$0.5 \leqslant k \leqslant 10$；$0 \leqslant \mu_1 R \leqslant 10$ 和 $0.5 \leqslant \mu_2 d \leqslant 10$. 积分計算值 $S(p, k, \mu_1 R, \mu_2 d)$ 总数超过 4300 多个. 表中列的是其中的一部分.

将本文的結果与文献[1]的数据作比較后可知：当屏蔽很厚时，后者得出的值偏大达100%或更多.

当屏蔽的重量和尺寸以及經济要求成为决定性因素时，那么上述情况才有特殊的意义. 另一方面，当屏蔽不厚和源的自吸收不大时，文献[1]的数据偏小，这就会引起严重的輻射危险.

以上所列的結果是未考虑到源和屏蔽中 γ 射綫的多次散射而計算的.

对于非点源来說，要严格的計算 γ 射綫的多次散射实际上是不可能的；但是可以用近似的方法計算并根据和实驗数据的比較来估計其准确度. 下述計算方法是上述近似方法中的一个. 当屏蔽层很厚时，在源中散射所生成的射綫，仅是屏蔽层后总射綫中不大的一部分. 在初級射綫是穿透能力最大的分量之情形下，这点是正确的. 这时，确定屏蔽后的射綫剂量，只要計算初級分量在屏蔽中的散射就足够了. 为了計算散射簡便起見，引入非点的 γ 射綫在屏蔽中的吸收厚度——$\mu_2 l$，是很方便的，它由下式确定

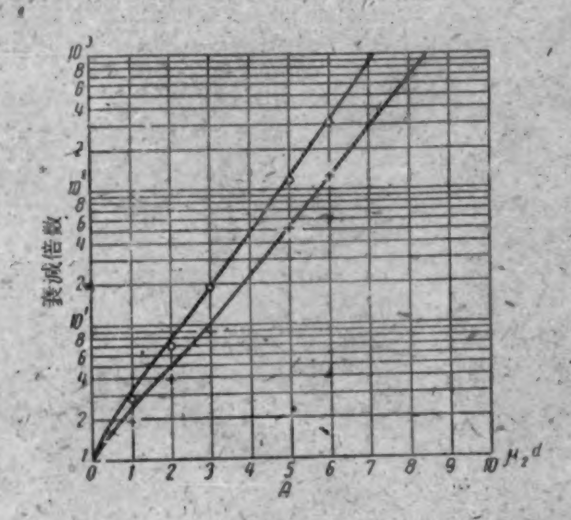
$$\mu_2 l = \ln \frac{S(p, k, \mu_1 R, \mu_2 d = 0)}{S(p, k, \mu_1 R, \mu_2 d)}. \tag{2}$$

等效吸收是这样一个屏蔽层的厚 $\mu_2 l$ 在这一厚度內点源 γ 射綫的吸收等效于非点源 γ 射綫在厚为 $\mu_2 d$ 的屏蔽內的吸收. 这时，圓柱形源在屏蔽后边所生成的射綫剂量可按下式测定

$$P = 2P_\gamma q R S(p, k, \mu_1 R, \mu_2 d) B(\mu_2 l); \tag{3}$$

当 $\mu_1 R = 1$ 时的积分值 $S(P, K, \mu_1 R, \mu_2 d)$

p	$\mu_2 d$						
	0.5	1	2	3	5	7	10
				$k = 0.5$			
1.5	$1.38 \cdot 10^{-1}$	$7.84 \cdot 10^{-2}$	$2.56 \cdot 10^{-2}$	$8.41 \cdot 10^{-3}$	$9.30 \cdot 10^{-4}$	$1.05 \cdot 10^{-4}$	$4.18 \cdot 10^{-5}$
2	$7.06 \cdot 10^{-2}$	$4.16 \cdot 10^{-2}$	$1.45 \cdot 10^{-2}$	$5.04 \cdot 10^{-3}$	$6.14 \cdot 10^{-4}$	$7.53 \cdot 10^{-5}$	$3.27 \cdot 10^{-5}$
3	$2.89 \cdot 10^{-2}$	$1.73 \cdot 10^{-2}$	$6.23 \cdot 10^{-3}$	$2.24 \cdot 10^{-3}$	$2.90 \cdot 10^{-4}$	$3.77 \cdot 10^{-5}$	$1.76 \cdot 10^{-5}$
5	$9.84 \cdot 10^{-3}$	$5.95 \cdot 10^{-3}$	$2.17 \cdot 10^{-3}$	$7.93 \cdot 10^{-4}$	$1.06 \cdot 10^{-4}$	$1.41 \cdot 10^{-5}$	$6.86 \cdot 10^{-7}$
				$k = 1.0$			
1.5	$2.14 \cdot 10^{-1}$	$1.17 \cdot 10^{-1}$	$3.60 \cdot 10^{-2}$	$1.13 \cdot 10^{-2}$	$1.17 \cdot 10^{-3}$	$1.27 \cdot 10^{-4}$	$4.83 \cdot 10^{-5}$
2	$1.24 \cdot 10^{-1}$	$7.15 \cdot 10^{-1}$	$2.39 \cdot 10^{-2}$	$8.02 \cdot 10^{-3}$	$9.17 \cdot 10^{-4}$	$1.07 \cdot 10^{-4}$	$4.36 \cdot 10^{-5}$
3	$5.49 \cdot 10^{-2}$	$3.26 \cdot 10^{-2}$	$1.15 \cdot 10^{-2}$	$4.08 \cdot 10^{-3}$	$5.13 \cdot 10^{-4}$	$6.46 \cdot 10^{-5}$	$2.90 \cdot 10^{-5}$
5	$1.94 \cdot 10^{-2}$	$1.17 \cdot 10^{-2}$	$4.23 \cdot 10^{-3}$	$1.54 \cdot 10^{-3}$	$2.03 \cdot 10^{-4}$	$2.67 \cdot 10^{-5}$	$1.28 \cdot 10^{-5}$



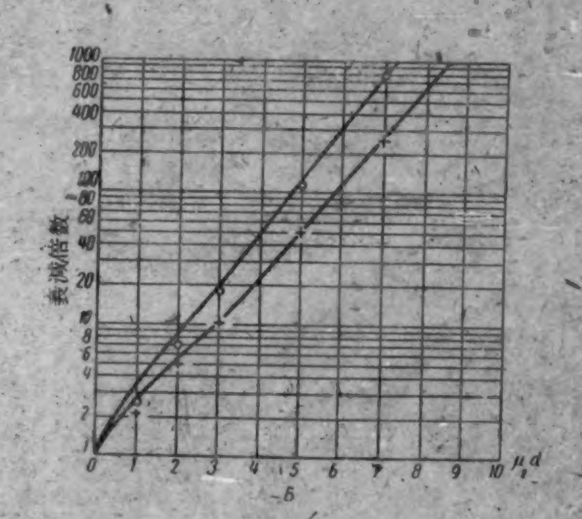


图 2 圆柱形源衰減倍数的計算値和实驗値的比較

A——$R=25$, $b=75$ 厘米; $Б$——$R=50$, $b=150$ 厘米

測量値: ○——对鉛而言, +——对鉄而言. 两条曲綫是理論曲綫.

式中 B 是点源的剂量积累因子[2].

在图 2 中比較了，圆柱形源的 γ 射綫在鉛和鉄中的衰減倍数对 $\mu_2 d$ 的計算曲綫和实驗曲綫.（R——圆柱半径，b——从圆柱中心到探測点的距离）

实驗时是以硫酸鈷水溶液为源的. 理論曲綫是用上述方法計算的，同时，无論計算理論衰減倍数或者計算实驗衰減倍数，均利用了 γ 射綫的实驗値. 当屏蔽厚度 $\mu_2 d \geqslant 2$–2.5 时，显然，按公式(3)所計算的結果，与实驗符合得很好. 根据这一点就可得出下述結論:

1）当屏蔽厚度 $\mu_2 d \geqslant 2$–2.5 时，在源內作过多次散射的射綫，在屏蔽后边总射綫中，实际上仅占不大的一部分.

2）利用等效吸收长度和点源的剂量积累因子，就可以計算已考虑到屏蔽中多次散射的 γ 射綫的剂量.

3）当 $\mu_2 d \geqslant 2$–2.5 时，計算和实驗結果的最大偏差不超过 30%.

应該強調指出，在本实驗中用的是散射最強硫酸鈷水溶液. 当然，在所有其它情形下，源中多次散射的影响将更小.

参 考 文 献

[1*] Защита ядерных реакторов. Под ред. Т. Роквелла, гл. 9. М., Изд-во иностр. лит., 1958.

[2] H. Goldstein, J. Wilkins, Calculation of the Penetration of Gamma-Rays. US AEC, report NYO-3075 (1954).

用几种人工放射性同位素作医学上丙种射綫照相的研究

波契瓦尔 (И. А. Бочвар) 布塞金 (В. Е. Бусыгин) 馬尔古里斯 (У. Я. Маргулис)

从現在已知的人工放射性同位素中，按丙种射綫的能譜及半衰期的性質說来，銩[170]和銪[155]是最适合作医学上的丙种射綫照相用. 在文献[1]中也指出了为此目的而应用鍶[90]—釔[90]韧致輻射的可能性.

現在可以制备銩^{170}的源，因此对这个同位素的研究引起人們更大的注意．此外，也提出銪^{155}与鍶^{90}—釔^{90}某些比較的特性．因为銩^{170}中丙种射綫产額占全部的百分之三，β-粒子最大能量等于 0.968 兆电子伏，故韧致輻射起主要作用．因此，研究銩^{170}輻射能譜和估計能譜中不同因素的剂量产率是完全适当的．

图 1 列出在直径为0.7厘米、厚度为 1.4 克/平方厘米圓柱形源端出口处而实驗获得的銩^{170}輻射能譜[1]．源的样品置放在厚度为 1.3 毫米的鋁鉑中，此鋁鉑可完全吸收銩^{170}的β輻射．

实驗的数据表明，由能譜軟的部分（0.03—0.1 兆电子伏）所形成的輻射剂量占源的总剂量 41.4%，这个剂量对医学上丙种射綫照相来説是极其重要的．能譜中較硬的部分只能使映象的性質和分辨力恶化．在这种情况下，必須估計到，随着射綫检查样品厚度的增加落到軟片上硬輻射部分也增加，因而将降低了映象的明显度．在这方面，同位素銪^{155}是适合的，其丙种射綫譜的范围是 0.06—0.132 兆电子伏，而韧致輻射产率是微不足道的，其最大能量不超过 0.25 兆电子伏．

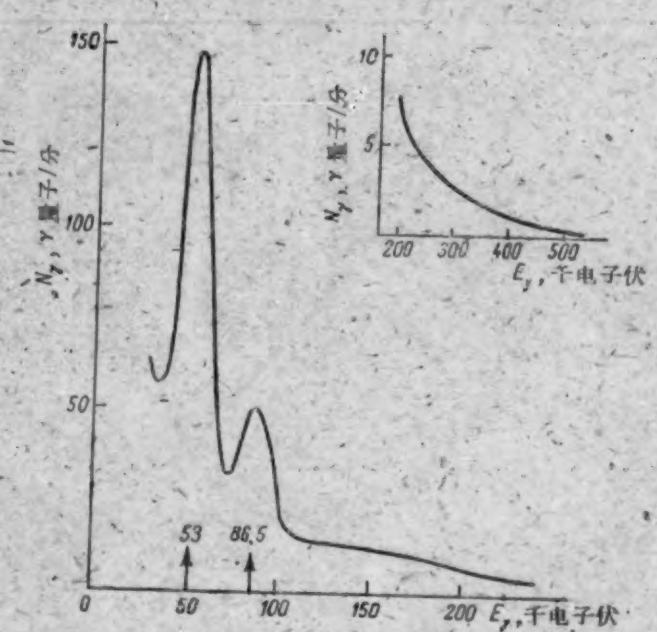


图 1 厚度为 1.4 克/平方厘米的銩^{170}源的特征輻射、韧致輻射和丙种射綫輻射的能譜分布

比較銩^{170} [2]和銪^{155}的γ常数表明(銩^{170}—0.045 伦/小时，銪^{155}—0.51 伦/小时)，由 1 居里銪^{155}組成的輻射剂量比銩^{170}大 11.3 倍．

在鍶^{90}—釔^{90}射源的周围包以 0.1 毫米厚的鉛箔时，其韧致輻射的最大能量为 2.2 兆电子伏(在 0.074 兆电子伏范围中为最多)．計算表明，离 1 毫居里放射性源 1 厘米距离时，韧致輻射的剂量强度約为 0.02 伦/小时．因此，无論就輻射能譜或产額説来，鍶^{90}—釔^{90}远不如銪^{155}和銩^{170}．

为了确定骨組織缺陷的表現度和外来加入物的存在，曾作成不同式样鋁制的倣照骨組織形状的缺陷探測器．探缺器放在不同厚度的有机玻璃膜中（10—160 毫米）．用“Агфа”(阿格发）軟片作照相用，并用标准的医学放大屏(焦距$F = 45$ 厘米)．

已进行的实驗表明，在用銩^{170}和銪^{155}的丙种射綫照相时，可以观察到位于厚度为 160 毫米的模型中間的金屬加入物，其大小为 1×1×1 毫米，如果此裂痕寬度小于 0.6 毫米，深度等于 5 毫米时，甚至可以看到厚度为 160 毫米样品的骨組織的裂痕，更細的裂痕(寬度 0.3 毫米)在不超过 80 毫米厚度时可以观察到．

应当指出，鍶^{90}—釔^{90}照片的質量較銩^{170}和銪^{155}差些．虽然在銪^{155}医学上的射綫照相术中，仍可看到照片的更高明晰度，但銪^{155}和銩^{170}的映象分明度还是差不多．

对医学上的丙种射綫照相术説来，应用同位素銩^{170}和銪^{155}时，骨組織缺陷的表現度是适当的，但它不能説出曝照时間．实驗証明，为了获得肘关节，大腿，膝关节的照片，1 克鐳当量的銩^{170}样品的曝照时間为 2—3 分鈡，对于囊泡——则約为 24 秒(应用阿格发“Агфа”型軟片和标准医学放大屏)．对骨組織照相时，曝照 15—20 秒卽可满足医学的应用．文中提到关于曝光时間最低限度縮短为原来的1/10—1/15．

---

1) 研究 Tu^{170} 能譜組份是和康士坦丁諾夫 (И. Е. Константинов) 共同进行的．

已知两种縮短曝光时間的方法为： 1) 增加軟片和放大屏的敏感度； 2) 增強源的放射性強度. 由于軟片和屏的敏感度增加，曝光时間約縮短二分之一到三分之一. 因而，为了解决医学上丙种射綫照相实际应用銩^{170}的問題，必須制备放射性为5—6克鐳当量的銩^{170}射源(1000—1200居里). 由于比放射性強度的增长一定要增加源的放射性. 因此，由于輻射的自減弱很強，增加源的大小是不适合的.

当对薄样品(囊泡)进行射綫检查时，銪^{155}(以源为1克鐳当量計算)的曝光时間比銩^{170}約小四分之一，对較厚样品(腿，肩)进行射綫检查时，則小三分之二到二分之一.

以1克鐳当量計算，鍶^{90}—釔^{90}的曝照时間比銩^{170}約多4—12倍，比銪^{155}約多16—17倍. 在此情况下，估計到照相的質量較差，同时也估計到比放射性強度大的源获得較困难，采用鍶^{90}和釔^{90}同位素作为医学射綫照相用的韧致輻射源是不适合的.

为了在野外条件进行射綫照相，已設計出一种装置，其外观如图2所示. 装置的重量为23公斤.

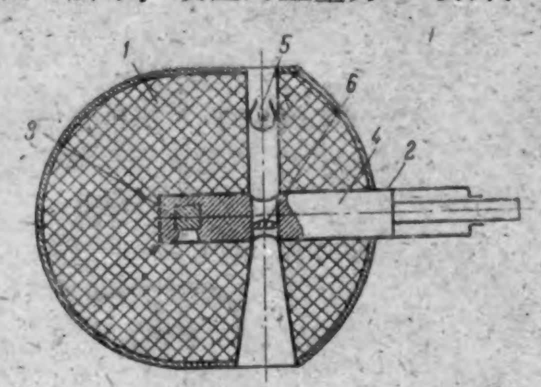


图3　輻照体的設計图

1.包在硬鋁合金壳中的鉛套； 2.黄銅管； 3.銩^{170}源；4.移动放射源的桿； 5.电灯泡； 6.把灯絲映象投影于摄影对象的透鏡.

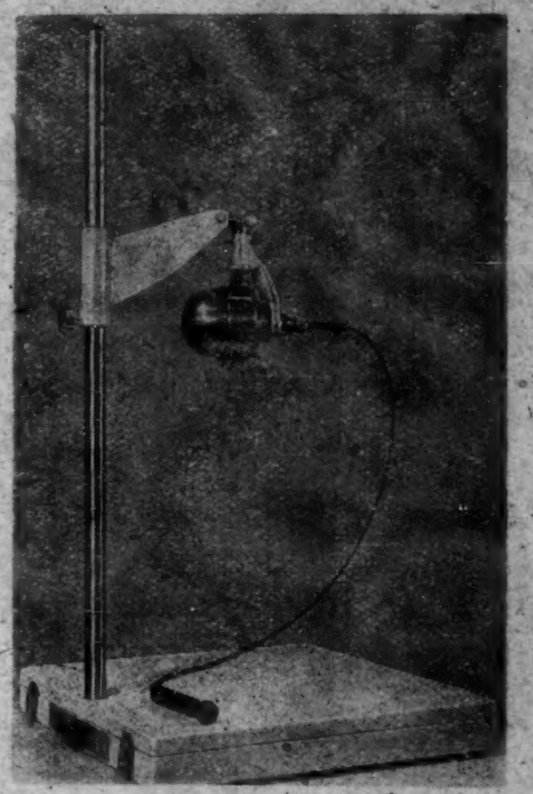


图2　丙种射綫照相携带式装置的概示图

輻射源的設計图列入图3. 仪器作用原理是基于当曝光时在曝照管道上端移动輻射源. 实驗装置样品按250毫克鐳当量的銩源計算.

在保存样本的情况下，在操纵照射源的一面，保护层的厚度为7厘米，另一面則为5厘米. 按計算数据，250毫克鐳当量的銩^{170}源的鉛防护层厚度为6.5厘米，則可保証照射源表面剂量強度降低至极限容許水平. 在5厘米厚的鉛防护层，离放射源表面17—20厘米时，則形成一个最大允許剂量.

在实驗室条件下应用此装置，表明它在工作中十分可靠和安全.

邓志誠譯

参　考　文　献

[1] L. Reiffel: *Nucleonics*, **13**, No. 3, 22 (1955).
[2] R. West: *Nucleonics*, **11**, No. 2, 20 (1953).
[3] Н. Г. Гусев: Справочник по радиоактивным излучениям и защите. М., Медгиз, 1956.
[4] И. А. Бочвар, У. Я. Маргулис: Мед. радиология, № 2, 70 (1957).

科 技 新 聞

第十屆全苏核能譜学会議

1960年1月19日至27日在国立莫斯科大学举行了第十屆全苏核能譜学会議(年会)。

九年前第一屆全苏核能譜学会議同样是在莫斯科举行，那时听众有70名，有12个人作了报告。今年在会上提出了180多个报告，而参加会議的有400多位代表。

在会上所研究問題的范围大大地扩大了：大会中提出的报告对原子核結构的各种問題进行了理論和实驗上的研究。

β衰变. 留彼莫夫（В. А. Любимов）（苏联科学院理論实驗物理研究所）的評論性报告对β衰变的一般性問題进行了闡述，該报告研究了β衰变的最新問題和提出了实驗者在这方面的任务。在斯莫罗金斯基（Я. А. Смородинский）（苏联科学院原子能研究所）的报告里談到了有关普适四費米相互作用常数值的一些問題。从实驗的数据中可計算出，由μ介子衰变和β衰变所求出的这个常数值稍有所不同。这种情况对理解β互相作用是具有极重大的意义。

β衰变的实驗工作可分为二个組。

第一組的工作是对β-γ极化关联以及内轫致輻射的循环极化等进行了研究。所有这些工作貫串着一个共同的思想：找出一些能够特别清晰地显示出β衰变本质方面的实驗条件。

列入第二組的有斯比瓦克（П. Е. Спивак）和米卡爱良（Л. А. Микаэлян）（苏联科学院原子能研究所）的关于在β衰变时电子纵向极化程度的測量工作，属于該組的还有庆承瑞和諾維柯夫（Л. С. Новиков）（原子核物理研究所，莫斯科大学）的关于P^{32} β譜形的研究工作，这些工作都闡述了衰变的各种問題，但是它們有个共同的趋向——想增加測量的精确度。現在β衰变理論的发展就是要解决这一問題。

到目前为止关于所有放射性同位素的电子极化值（理論上算出的）等于v/c这种說法仍占优势，唯一例外的是 Ra_E，它已由实驗可靠的証实，但是对于这种情况已經找到专門的解釋。

斯比瓦克所进行的实驗其精确度虽高，但这些实驗証明，P^{32}、In^{114}、Sm^{153}、Lu^{177}、Au^{198}和Ho^{166}的电子极化彼此之間是有所不同，并且这种差别值达到10%。在P^{32}中发現有最大的极化值，它等于v/c的(96±4)%。

这样一来，这些实驗确定了：与其說极化对v/c值之偏离是一个例外，不如說是个普遍的規則。这个事实須要解释。

庆承瑞和諾維柯夫的工作对$P^{32}\beta^-$譜形进行了詳細的研究。根据盖尔曼（Гелл-Манн）的假設在所有的弱相互作用时将会产生弱的磁性，这种磁性使原子序数Z不大的和衰变能量大的原子核之β譜分辨形发生偏离。由于这个緣故，作者們研究了$P^{32}\beta^-$譜形，对这种譜形来說是具有上述效应，同时还研究了$In^{114}\beta^-$譜形，而对这种能譜上述效应是不会产生的。測量是利用双聚焦β能譜仪来进行。此測量指出了$P^{32}\beta^-$能譜居里图在能量为1000—1700千电子伏范围内的确是与直綫有很大区別，其差別值是3—5%，而同时对In^{114}来說此現象未曾观察到。

核反应. （烏克兰苏維埃社会主义共和国科学院物理研究所）巴謝奇尼克（М. В. Пасечник）实驗室的工作研究了能量为6.8兆电子伏的质子在激发能級为1—1.5兆电子伏的鉻和鎳核上之非弹性散射。角分布表明，在这个能量范围内复合原子核形成的机制在非弹性散射中起着主要的作用。

瓦列捷尔（А. К. Вальтер）实驗室（烏克兰苏維埃社会主义共和国科学院化学物理技术研究所）做了大量的工作，在研究(p,γ)型反应的工作中确定了Na^{21}、Cl^{35}和K^{41}核的一系列能級。

符拉索夫（Н. А. Власов）实驗室（苏联科学院原子能研究所）做出了极有意义的工作。在这些工作中研究了許多輕核、中間重量核和重核的(d,t)反应。在这个反应中中子由核中掙脫。并按氚核的能量可以确定中子的結合能。带有各种不同結合能的中子由核中逃脫时，可以得到明显的原子核中子壳层图。

在好几次会議上曾对輕核、中間重量核和重核

的核能譜学进行了闡述．在过去的一年中获得了大量的实验材料，已有的放射性同位素衰变图得到了进一步的确切，并且拟制了許多放射性同位素新的衰变图．

拉符魯欣娜（А. В. Лаврухина）和馬雷舍娃（Т. В. Малышева）（苏联科学院地球化学研究所，联合原子核研究所）工作組进行了大量的有关鋨、鉑和鉈的貧中子同位素的研究工作．由于化学家和物理学家們的共同工作，成功地发現了两个新的同位素：Ir^{184} 和 Pt^{187}．

畸变原子核理論．达魏多夫（А. С. Давыдов）做了綜合性的报告．

达魏多夫和費利波夫（Филиппов）发展了非軸向畸变原子核存在的理論，并将它运用在奇核上．格里高利也夫（Е. П. Григорьев）和阿沃季娜（Авотина）（列宁格勒大学）对非軸向偶核理論与实驗的結果进行了比較，使他們做出了下列結論：該理論的結果与实驗数据不矛盾．为了証明非軸向核的存在，尙需要一些新的事实和比較．

有 10 多篇文章曾闡述了軸向核理論的各种問題．

稀土元素的貧中子同位素．今年提出了大量的有关貧中子同位素的工作．有 11 个研究所参加了这些同位素的研究工作：联合原子核研究所、苏联的 8 个研究所、波兰研究所和捷克研究所．提出了50篇新穎的报告和 8 个評論性报告．德热立波夫（Б. С. Джелепов）作了开幕詞，他对所有得到的結果进行了評述，并指出，由于物理学家和化学家們的共同努力和創造性的协作，在能譜学方面获得了很大的成就．能譜学家們由于深入了較多貧中子核方面的工作，因而发現了某些新的同位素：Ho^{155}、Ho^{158}、Er^{158}、Tb^{150} 等．得到了大量的新实驗資料，这些資料給以前所确定的衰变图带来了本質上的改变．

γ 过程．在研究 γ 过程的工作中应当指出阿尔哈佐夫（Д. Г. Алхазов）和列姆別尔克（И. Х. Лемберг）（苏联科学院列宁格勒物理技术研究所）工作組用重离子对核进行庫仑激发的实驗．其中最有意义的是观察到了核能級的級联激发．在研究用能量加速到 27.8 兆电子伏的离子 Ne^{20} 来轰击分离后的同位素 W^{182}、W^{184} 和 W^{186} 所放出的 γ 量子能譜时，观察到了自旋为 4＋ 的第二激发能級跃迁到自旋为第一激发能級的一些 γ 譜綫．因为在偶核中自旋为 4＋ 的能級之直接激发，其几率是非常小的，所以很明显，观察到的激发是一种級联过程的結果．在此种过程中自旋 4＋ 激发能級的产生，是由于起始的电四极跃迁到自旋 2＋ 能級和最后的由 2＋ 能級跃迁到 4＋ 能級的結果．

阿利哈諾夫（А. И. Алиханов）和留彼莫夫（苏联科学院理論实驗物理研究所）作了关于 γ 射綫共振散射方面的极有意义的和大有发展前途的实驗报告．他們所进行的实驗类似于麦斯巴烏尔（Мёссбауэр）的实驗，此实驗是用同位素 Sn^{119} 在液态氮温度下进行 γ 射綫共振散射．

他們所观察到的固定譜綫（$h\nu = 23.8$ 千电子伏）之呈現效应的表現要比麦斯巴烏尔 Ir^{191} γ 輻射（$h\nu = 129$ 千电子伏）鮮明得多．共振譜綫的寬度等于 $5\cdot10^{-8}$ 电子伏，也就是比麦斯巴烏尔实驗中的譜綫寬度窄 1/130．作者們发現到由于振动和噪音，放射源的微小运动对譜綫的强度有着頗大的影响．同时他們也观察到了当放射源放置到磁場中去时，共振譜綫的强度即减小，此磁場能引起錫核能級的塞曼分裂．根据初步的測量，Sn^{119m} 的第一激发能級的磁矩不超过 0.8 玻尔核磁子．

克罗托夫（В. А. Крутов）（列宁格勒大学）所报告的关于 $E0$ 跃迁时 γ 輻射方面的工作是很有意义的．$0_{\pm}\to0_{\pm}$ 型核跃迁被认为是沒有射綫的．該工作証明了，壳层电子或电子本底的存在有可能会引起核激发态的单个光子的放电，同时由原子中逸出多极性 M1 的 γ 量子．作者們得到了在 $E0$ 跃迁时射出的 γ 量子数对內轉換电子数或轉換偶（反向轉換系数）之比的公式．

計算証明，对輕核和中間重量核（C^{12}、O^{16}、Ca^{40}）中的已知 $E0$ 跃迁来說，反向轉換系数其数量級的大小等于 10^{-4}—10^{-5}．

原子核能譜学技术．在会上闡述了有关 α、β 和 γ 能譜学問題，在許多报告中都研究了新的能譜仪，本年度內最有意义的創作品是下面两种光譜特性极良好的新仪器：

1）大稜鏡 β 能譜仪，是由凱列曼（В. М. Кельман）、別列古迪（Б. П. Перегуды）和斯科比娜（В. И. Скопина）（苏联科学院列宁格勒物理技术研究所）所制造的，这种能譜仪的分辨率为 0.013 到 0.15%．光强度相应由 0.005 到 0.8%．在仪器中利用了磁稜鏡和一些新結构的透鏡．能譜仪的控制和測量結果的記录都是自动化．

2）高分辨率的磁 γ 能譜仪，此譜仪是由格罗舍夫（Л. В. Грошев）、杰米多夫（А. М. Демидов）、魯青柯（В. Н. Луценко）和馬洛夫（А. Ф. Малов）（苏联科学院原子能研究所）所制造．此能譜仪是一种改进过的康普頓能譜仪，当能量 $E_{\gamma} = 1$ 兆电子

伏特时其分辨率为 0.23%．借助于这种能譜仪能测量出伴随着热中子被氮所俘获时放出的 γ 射綫譜．测量可在 0.3 到 9 兆电子伏特的能量范围中进行．

在閉幕詞中德热立波夫指出了过去一年中在核能譜学中所取得的一些主要成就．

大会的著作将在 1960 年"苏联科学院通报"杂志和物理丛书第 3、7、9 期中发表．

克拉夫特 (О. Крафт)
西 羽 譯

訪烏克兰科学院物理研究所

(与該所科学副所长渲明芙的談話)

1960 年 2 月，烏克兰科学院物理研究所启动了功率为 1 万瓩的 BBP–M 型反应堆．在这个反应堆上将进行下列工作：

1) 用飞行时間法研究慢中子共振散射(为此作了机械选择器和 1024 道时間分析器)．这一工作将由巴謝奇尼克、維尔切普和奥芬千金来进行；

2) 研究俘获 γ 射綫譜 (制造了寬角 γ 譜仪，其俘获角度达 80°)． 这一工作将由巴謝奇尼克和巴尔丘克来进行；

3) 研究短寿期同位素的寿命．

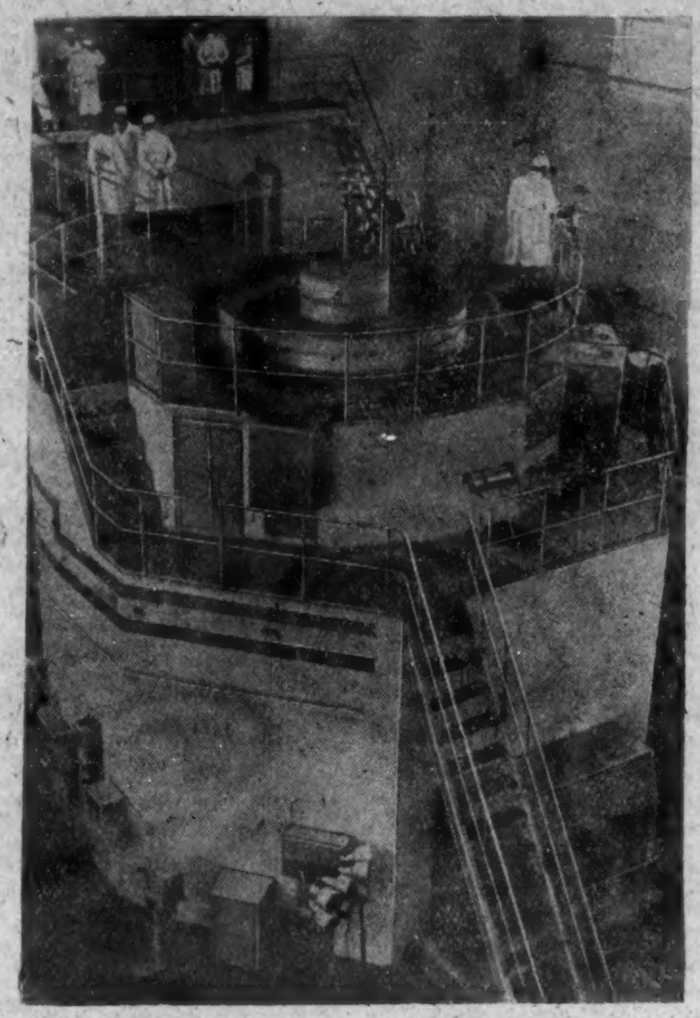
除上述研究項目外，在反应堆上还将进行放射化学和放射生物学的研究．

1959 年在迴旋加速器上(这个加速器是从 1957 年开始工作的)用 11 种同位素进行了剝裂反应的角分布的研究． 研究員渲明芙和札依卡雅取得了級能、自旋能和宇称能的数值．此外，获得了弹性和非弹性散射氘的角分布，以及 pD 和 DT 反应中的氘和氚的角分布．作出了关于核反应过程的結論．这項工作是由渲明芙、沙尔特柯夫和索柯洛夫作的． 测量了质子的弹性和非弹性散射的角分布． 在 Ni^{58}、Ni^{60}、Ni^{62} 同位素靶上所作的弹性散射的研究表明，这些角分布的性質有着显著的差异，并且不能在光学模型范围中找到解释．巴謝奇尼克和普切洛夫测定了质子在弹性散射时的极化作用．

1960 年預定扩大这些测量． 研究所在开展这些工作的同时，还将研究质子在剝裂反应中的极化作用，角 D_p 的 γ–相互作用和 D_n– 与 D_α– 反应． 相应的設备已經制成，一部分已經进行了試驗．

1959 年，斯特利札克在靜电加速器和低压中子加速器上研究了中子弹性散射的角分布，其能量为 3 和 14 兆电子伏． 1960 年預計継續进行这些工作，并且还要研究中子的极化作用．

核材料和核动力学理論的研究有了进一步的发展．根据包戈留保夫的超导理論进行了核材料的集体激发的計算． 根据这一理論，道琴柯和齐赫米斯特林柯計算了超流动核子气体的基态能和基本激发能．



烏克兰科学院物理研究所的功率为 1 万瓩的 BBP–M 型反应堆．

A. M. 卡拉列夫根据偶偶核綜合核模型发展了剝裂反应理論．

研究所还进行了各种設备的創造．其中設計了带磁記忆的多道脉冲分析器、低压中子加速器，从二个系統到十个系統的定标器、閃爍 γ 譜仪、中子譜仪和带电粒子譜仪．

B. 帕尔希奇柯 (本刊特派記者)
(金 鼎 譯)

原子能的利用在巴西和阿根廷

巴西对原子能发生兴趣是有一些原因的．虽然巴西拥有大量的天然财富，但它們的利用却受到两个主要因素的限制：交通运輸不发达和电能生产不足．

影响电能生产的原因是缺少煤和石油产地，以及主要的水力电源离最重要的工业区里約热內卢和圣保罗太远．此外，根据官方的統計，巴西全部能用的水力資源(約17000兆瓦)只能用到1975年，而那时电力設备的功率預計增长到22000兆瓦．因此，計划到1965年通过原子核装置将取得～500兆瓦，到1975年将取得約3000兆瓦[1]．

由于有鈾和釷的产地，巴西的原子核动力工程将得到发展．最近几年，在巴西大力进行探查工作，特别是采用航空γ和航空磁性测定方法进行探查．除了早先在米納斯日賴斯州、伊希皮里士桑士州、巴義亚等地发現的矿产地，以及巴索吉卡里多斯(Пасоеди-Кальдос)高原的鈾鋯产地外，又发現了某些新的鈾矿产地．在阿里阿斯普拉塔(Агуас-де-Прата)地区发現了含鈾量从5到10%的丰富矿层[2]。在圣保罗，巴拉那，Санта-Катарина和里烏格兰德(Риу-Гранди-ду-Сул)地区的煤层中也发現了鈾[3]．巴西除了鈾以外还有規模巨大的釷矿产地．二氧化釷估計有20万吨的儲藏量[4]．作为提取釷的主要原料的磷鈰鑭矿砂分布在里約热內卢、伊希皮里士桑士和巴義亚州的河岸一带．Итабапуана(里約热內卢州)和Руаранари(伊希皮里士桑士州)地区的矿藏都是非常丰富的．現在，大部分磷鈰鑭矿都是在这些地区开采．

为了加工磷鈰鑭矿，有化学工厂，其中第一个工厂年产3000吨，已于1951年开工．这些工厂可以很容易地从含鈾的鈮鉭中提取鈾．

1957年在圣保罗大学建造的巴西第一座功率为5兆瓦的水池型反应堆，給开展原子核的研究和制取同位素打下了基础．这个反应堆是由美国"巴布柯烏衣柯克"公司承建的[5]．在結构上，这个反应堆与密西根大学的反应堆相似，只在释热元件、冷却系統和水池的大小上稍有不同．减速剂、反射剂和載热剂是普通水，燃料是加浓鈾和鋁的合金．带有鋁壳的片状释热元件放在組件中，每一組件內有19个．活性区高度为60厘米．反应堆装料(鈾235)为3.66公斤(在加浓百分之廿的条件下)．

1957年从美国购买了30公斤鈾，其加浓度为百分之廿，即40个释热元件[6,7]．

还有一座研究性反应堆(TRIGA)将在米納斯日賴斯州貝洛里臧提的一个大学里建造．已經同美国的"通用原子"公司訂立了供应合同．反应堆的額定功率为30瓩，但是可以用100瓩功率进行工作[8]．

除了建造研究性反应堆外，还計划建設一些原子能发电站．巴西的两个公司已經宣布，要建造功率为25兆瓦的原子能发电站．电站上将装置两个相同的压力水反应堆．在有大量沉淀和电站可以产生足够的电能时，将用一个堆工作，而在第二个堆上将进行修理工作和更换释热元件．在一年的干旱时候，两座反应堆将同时工作[9]．

在国家原子能委員会的計划中，还包括在圣保罗附近建造一座功率为100—150兆瓦的原子能电站和中央各省建造的不包括在总电能系統內的、功率为100兆瓦的电站若干个．如果能胜过小型柴油装置的話，还将建造一些小电站．

研究了建造采用国产燃料的增殖堆(具有Th-U233循环)的可能性[1]．

在南美的另一个大国——阿根廷，电能的生产中心离工业区很远．这些工业区主要是在阿根廷的东部和中部．根据1955年的統計，87%的电能都用在布宜諾斯艾利斯区．这个区对电能的需要不断增长，但是却沒有足够的动力資源．为了滿足需要，这个地区所需要的全部燃料的50%要由外地輸入．因此，阿根廷原子能委員会認为，要供給东部和中部各省所需要的电能，須建立一个功率为～2000兆瓦的原子能电站．

为了发展原子核动力工程，阿根廷本国拥有足够的資源．目前，全国已发現的鈾釷矿产地有100处以上．其中8个鈾矿和2个釷矿已开始开采．国家原子能委員会已經开始研究阿根廷西部离Неукен 280公里的鈾矿产地．在已开始經营的鈾矿产地中，最重要的是門多薩省Маларгуэ附近的国营矿場．鈾的生产規模不大，而主要是在这个产地．鈾矿在三个工厂連續加工到制出反应堆純度的鈾．在1957年，阿根廷从含鈾0.5—0.9%的矿石中提取了～30吨鈾[10]．

全国正在进一步探查鈾釷矿产地．在1959年，阿根廷原子能委員会在Ла-Риоха省的新矿厂制备

一批 2.5 吨的鈾矿样品。这批样品中，氧化鈾的平均含量为 25%。根据专家們的結論，肯定这些矿厂今后将开采出丰富的矿石[11]。

不久之前，在薩尔塔省发現了規模大的鈾矿产地。現在原子能委員会的专家們正大力进行这一地区的研究工作[12]。

1957 年布宜諾斯艾利斯和拉巴拉他之間建造了实驗性反应堆 RA-1，这个反应堆的建造給阿根廷反应堆建造工程的发展打下了基础。

这个堆是根据国家原子能委員会的决定由美国"通用电气"公司承建。其結构与"阿貢"反应堆类似。反应堆在 1958 年年初即达到临界。反应堆被用来进行各种实驗，培养干部，检查布宜諾斯艾利斯附近原子能委員会經营的工厂从阿根廷原料制取出来的金属鈾的純度，以及用来制备数量不大放射性同位素供工业研究用。反应堆中的燃料采用加浓到 20%的二氧化鈾。释热元件（每一組件內 17 个）作成片状的，包有鋁壳。用水导热，中子的慢化采用水和石墨。装有石墨块的反应堆中央部分有热柱和七个样品照射用的孔道。活性区高度为 1.2 米，直径为 0.9 米。根据反应堆 RA-1 运轉中积累的經驗，正設計相似反应堆RA-2[13]。这个堆的結构簡化了，它将有更大的可能性来进行各种实驗。

金鼎 譯

参考文献

[1] *Nucl. Power*, 4, No. 33, 111 (1959).
[2] *Mining Rec.*, 68, No. 6, 3 (1957).
[3] *South-African Mining and Engng J.*, 67, No. 3324, 671 (1956).
[4] *Mining Mag.*, C, No. 5, 258 (1959).
[5] *Nucl. Power*, 2, No. 19, 449 (1957).
[6] M. Santos, P. Toledo: Доклад № 2274, представленный Бразилией на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958).
[7] *Nucleonics*, 15, No. 9, 25 (1957).
[8] *Nucl. Engng*, 3, No. 33, 548 (1958).
[9] *Atomwirtschaft*, IV, Nr. 7—8 (1957).
[10] *Appl. Atomics*, No. 105, 8 (1957).
[11] *Atomwirtschaft*, IV, Nr. 2, 83 (1959).
[12] *Nucl. Power*, 4, No. 41, 84 (1959).
[13] F. Fuertes, O. Gamba: Доклад, № 1584, представленный Аргентиной на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958).

西班牙原子核动力的发展計划

由于石油和天然气体的缺乏，煤的蕴量少以及水能的使用不便，因而引起西班牙国营工业和私营工业对原子核动力的兴趣。

1948 年曾成立了委員会，它負責拟定西班牙原子核动力的发展計划，后来，又成立了原子能委員会負責进行和配合原子能方面的科学研究工作。原子能动力的利用問題，由西班牙工业部原子能总局管理。

西班牙的专家們認为，对它們的国家来說，建造原子能发电站是非常昂貴的。根据他們的估計，到 1972 年，原子能动力装置的建設費需要 4 亿元，到 1977 年需要八亿八千万元。如果动力反应堆仍然需要从外国购买，那么这笔开支对西班牙的經济来說是負担不起的。因此，发展自己的原子能工业，以便設計和建造原子能发电站是西班牙計划的主要目的[1]。

原子核动力的发展計划規定，到 1970 年，要建成电功率达 350 兆瓦的装置。目前，准备增加原子能发电站的总功率[2]。

探矿結果（第一批鈾矿床是在 1954 年发现的）証明，西班牙拥有发展自己原子能工业的原料基地。西班牙的鈾矿比較丰富，这些鈾矿蘊藏在哈恩、科尔多瓦、巴达霍斯、卡列尔塞、薩拉曼卡及托列多省，目前正在开采。矿石中鈾的含量 0.1—4%；据估計，矿石总蘊量为一百万吨[1]。也有鋯和鉭的矿床[1]。原料的普查工作还正在継續进行，因为已經調查过的地方，只占到所預計的矿产地的一小部分（20%）。

1955 年在馬德里附近的蒙克洛原子核中心的实驗性装置上（图 1）实現了从矿石中制取金属鈾的全部过程。1959 年夏天，在哈恩省的安杜哈尔建成了一个炼鈾厂，一昼夜可精炼 200 吨矿石[1]。該厂用离子交换法和磷酸三丁酯溶液萃取法精炼矿石。

1959 年初，西班牙的专家們在維斯克附近建成一个年产重水 1—1.5 吨的装置。現正在建造着一个生产释热元件的装置。

至于西班牙工业干部的培养，在前一个时期基本上是派遣人員到美国或西欧最发达的国家去学习，以获得一定的技术水平。現在，有几百名具有大学或中等技术学校文化水平的人員在蒙克洛原子核研究中心工作。在这里，他們进行着同位素置换反

应——作为生产重水的过程基础，鈾化学以及利用預应力鋼筋混凝土代替鋼鉄作反应堆防护外壳等研究工作。

在学校和工业企业的实驗室里，也进行着原子核物理的研究工作。在比里包及巴尔塞郎工业学校里，講授有关原子核工程的技术課程[1]。

西班牙反应堆建造工程的发展是从蒙克洛原子核研究中心建造研究用游泳池反应堆开始的，其功率为 3000 瓩(图 2)。反应堆是由美国"通用电气公司"供給的，它于 1958 年夏天开始运轉。反应堆厂房里有供研究用的实驗室，其中包括热室。反应堆除供教学及研究用外，还供生产同位素用。

为了从动力反应堆的运轉和释热元件的研究中取得經驗，西班牙决定购买一个功率为 20—30 兆瓦的試驗性动力反应堆。美国一些公司曾提出以下三种类型的反应堆："国际原子能"公司建議用一种有机載热剂的重水慢化剂的反应堆，"通用电气"公司建議采用沸騰水反应堆，而"西屋电气"公司提出管內压力水反应堆。所提出的三种反应堆都备有供实驗性释热元件[4]用的試驗迴路[3]。

对所提出的方案研究后，选择了"国际原子能"公司所建議的反应堆方案[5-6]。此反应堆将于 1962 年前在阿里别尔奇河岸(距馬德里西南 64 公里)建成。这一反应堆的大部分材料将在西班牙制造。

第一个功率为 200—250 兆瓦的大型原子能发电站預計将建造在馬德里附近的塔霍河岸[4-7]。看来，发电站的反应堆将从美国购买。发电站預計在 5—6 年內建成。

此外，西班牙私营工业的三个小組正在从事大型原子能发电站的設計。

第一个小組——"原子核"公司已經完成了毕尔巴鄂附近(埃布罗河岸)工业区原子能发电站的設計。功率为 200—250 兆瓦的发电站第一期工程預計在 1964—1965 年間开工[7]。公司第二組——"原子技术"——正从事功率为 132 兆瓦的电站的設計，此电站将建造在卡吉斯附近。第三組——"原子核中心"("SENUZA")——从事 200 兆瓦电站的設計，此电站将于 1966 年[2]在馬德里附近建成。



图 1 蒙克洛原子核研究中心游泳池型反应堆的厂房

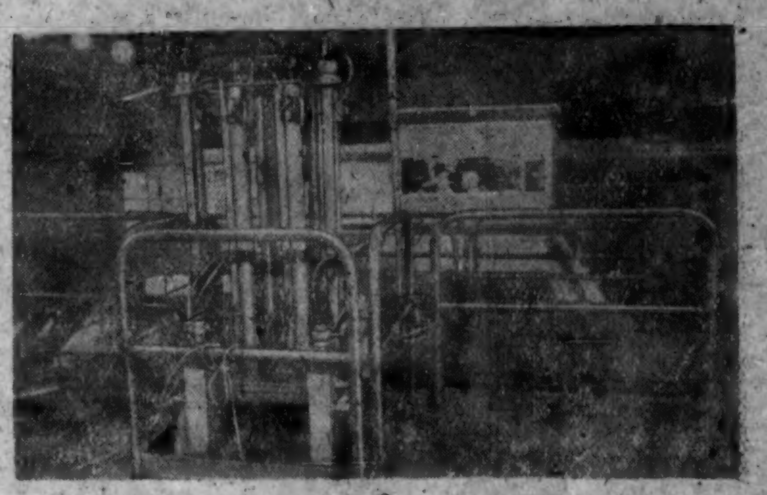


图 2 蒙克洛反应堆上部图

关于原子能发电站反应堆的型号尙未报导。可以設想，塔霍河第一个发电站的反应堆可能是水-水型的。但是，西班牙对卡德尔豪尔型的反应堆很感兴趣，因为这种反应堆不同于使用天然鈾的水-水型反应堆[1]。

参 考 文 献

[1] *Atomic World*, 10, No. 4, 145 (1959).
[2] *Nucl. Power*, 4, No. 33, 106 (1959).
[3] *Nucleonics*, 17, No. 5, 34 (1959).
[4] *Nucl. Engng*, 4, No. 40, 317 (1959).
[5] *Nucleonics*, 17, No. 8, 23 (1959).
[6] *Nucleonics*, 17, No. 9, 21 (1959).
[7] *Chem. Ind.*, 10, H. 12, 705 (1958).

唐宁快中子动力反应堆的启动

位于苏格兰北岸的唐宁的扩大燃料再生产的快中子反应堆已于 1959 年 11 月达到临界(图 1)，它的电功率为 15000 瓩。反应堆共化了四年八个月的建造时間[1]。

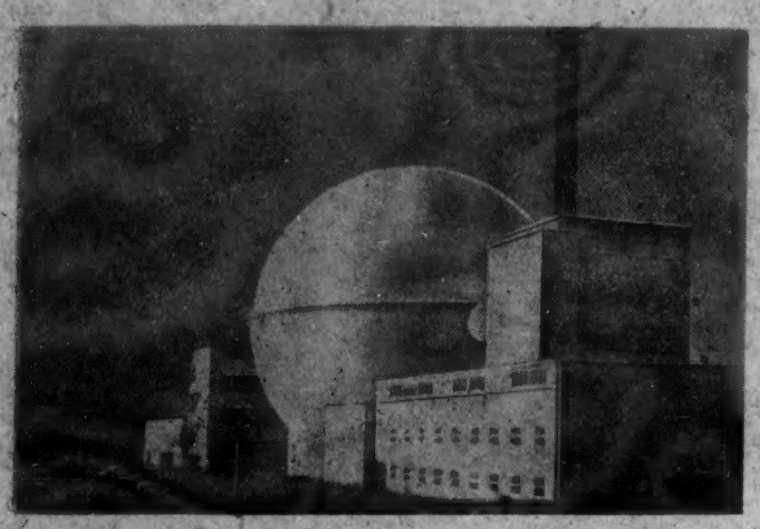


图1 唐宁反应堆装置概視图．可看到装有反应堆的球形外壳的左边是蒸汽动力設备厂房；前面的平面布置上可看到操縱台房間，释热元件貯藏室和行政大樓．

反应堆的六面形活性区的尺寸为 53×52 厘米，装浓縮度約为 45% 的鈾制成的释热元件．活性区的四周放天然鈾制的鈾棒(再生区)．活性区和再生区装在充滿液态金属載热剂(Na-K 合金)的不銹鋼外壳里．用电磁泵經过 24 根管状热交換器来压送一次載热剂．在管状热交換器上，冷却具有放射性的一次 Na-K 合金活性区的，传給二次非放射性 Na-K 合金．二次載热剂沿管道送到蒸汽发生器，所产生的蒸汽带动汽輪机或进入被海水冷却的聚集冷凝器．图 2 为装置的热力系統图．

有关个別部件結构的詳細資料可以参閱文献[2,3]．

唐宁反应堆的启动工作分四个阶段进行[4,5]：1）未加液态金属載热剂的干燥系統的試驗工作；2）Na-K 合金的制备和灌注入回路中；3）检驗各种部件和反应堆装置各系統在有載热剂情况下的工作性能；4）反应堆的启动．

启动工作的第一个阶段是从装載燃料的准备工作开始的．在这一工作阶段，充注冷却系統之前，先在反应堆再生区內装上 2100 根释热元件．約有 150 根天然鈾的释热元件是在系統內充灌 Na-K 合金后装入的，以便在工作条件下检驗装料机的工作情况．这个装料机共重 25 吨，可在反应堆的蓋子下升高約 10 米，可以同时装卸或重 3.18 公斤的点燃区元件，或重 35.32 公斤的再生区元件．

装載燃料的操作是在氮气中进行的，所以应当特別注意检查上部旋轉防护盘和装料槽內的两个塞子的密封．在这个槽的上面装有检查释热元件位置和中子源放到活性区是否正确的設备．在装卸机的箱內放有 33 个"新"的释热元件，它們都插在用鉛充填的不銹鋼装料囊內．可以逐根把元件从箱內移到有防护的运送車上，并且把元件垂直安放于小車上．这些操作和以后把元件卸到装卸机上的操作都应在縫隙密封好和用氮气吹气检查之后才能进行．新元件装入反应堆后，应把烧过的元件用装卸机装入箱內，插到空出的装料囊座上．試如經驗所表明的，每装一根释热元件，約需要一个小时．

装料机投入运行时发生了相当大的困难．例

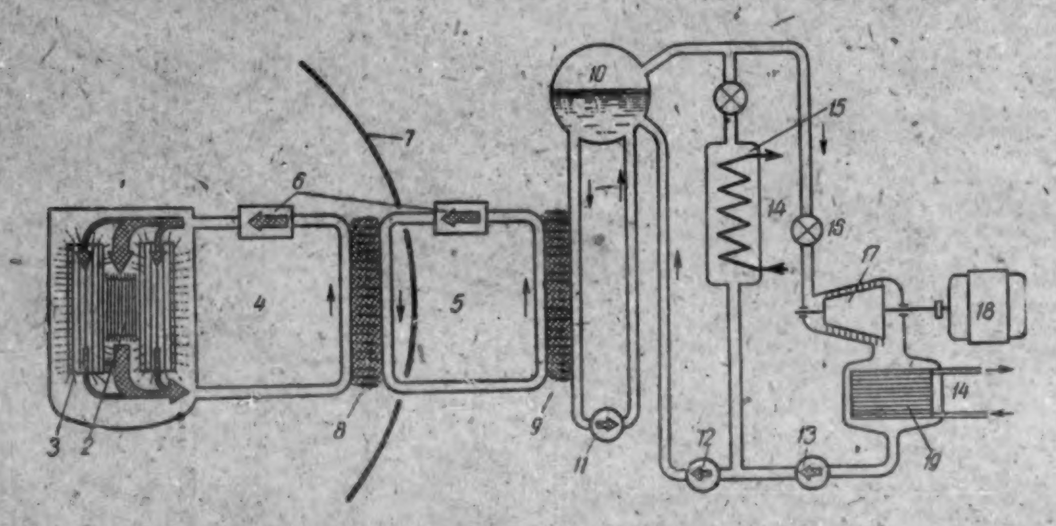


图2 反应堆装置的热力系統图

1—反应堆外壳；2—点燃区；3—再生区；4—第一回路(放射性 Na-K 合金)；5—第二回路(非放射性 Na-K 合金)；6—电磁泵；7—反应堆的球形外壳；8—热量由放射性的 Na-K 合金传給非放射性的；9—热量由非放射性的 Na-K 合金传給水；10—集汽器；11—主循环泵；12—給水泵；13—冷凝泵；14—海水；15—断开汽輪机时用的冷凝器；16—关断閥；17—汽輪机；18—发电机；19—汽輪机冷凝器．

如，装卸机孔和活性区管道的同心度的指示器要求作得比較精确；为移动脱扣下降机构抓鈎用的传动，看来对抓鈎的"咬合"和本身可动部分不很灵敏；电动机开动后煞停不住，造成另件过分楔紧或使节索崩断。因此所有传动都做成用人工操作的，为了限制外加压力，采用了特种銷，在过負荷时就切断。为观測装料情况采用了电視室。

在第一阶段，检驗了提取和修理起調节系統作用的释热元件传动的設备。预定更换释热元件12个調节組的每一組的操作需要花費24小时，但是检驗时出現的复杂情况和补充的改善工作使更换时間延长到3—4天。

在工作过程中用氧化氮作指示剂检查了系統的密封性。第一阶段的工作共进行了六个月。

启动工作的第二阶段是从充滿了Na-K合金的管道和容器的加热开始。

灌注到迴路內的液态金属是由下列四种不同成分所組成的：純鈉，Na-K（40%的鈉和60%的鉀），Na-K（鈉和鉀各50%）和Na-K的低熔混合物（22%的鈉和78%的鉀）；鈉的总数占全部重量的72%。灌注迴路是利用压縮氮气来完成的。首先将二次迴路中的一部分灌注合金（12个迴路中的三个），而此合金在二次热交换器內用蒸汽加热，这就保証了对大約以4吨/小时的速度所要灌到第一迴路中的Na-K混合物不断予热。在充注时，測量了液态金属的液位和温度。

在温度約120℃的情况下，第一迴路的Na-K混合物用24台电磁泵輸送了12小时，然后所有載热剂排列专門的容器內，用过滤元件清除其杂质。冷却到80℃使部分氧化物沉淀后，液态金属重新过滤，充入迴路，又連續不断循环了五昼夜。在貯藏中Na-K合金內所形成的各种氧化物会在迴路灌注时使管子和閥門的某些弯弯处发生堵塞現象。为了去除氧化物，不得不勤换載热剂淨化系統內的过滤元件，其更换次数比想象的要来得多。在这段时期內，曾校驗了温度和流体的所有检測仪表，以及大大提高了Na-K混合物的純度。混合物中氧的含量利用錯过滤元件达到了百万分之几（10^{-4}%）。当119吨液态金属充注迴路时，曾发生了一两次火焰，这些火焰很快被消灭了。

載热剂的灌注和循环系統的試驗整整进行了一个月。此后开始了启动工作的第三阶段——在迴路灌滿載热剂的情况下对調节系統和装卸系統进行試驗。

在移动一組調节释热元件时脫扣下降机构坏了，調节組的継續下降看来已不可能。当使用装卸机时，在迴路灌滿的条件下所遇到的某些缺陷是由于軸承上和齿輪传动上妨害自由旋轉的氧化薄膜的有害作用所引起的。

为了消除氧化薄膜曾进行研究和采用了专門的工具，因必須經常清除液态金属表面上部空間的氧气，这一工具的操作变得异常麻煩。尽管如此，还必須将調节組件12个传动中的3个全部取出，以清除氧化膜。待燃料装入再生区、反应堆調节系統和測量載热剂中氧化物含量的仪表装好和最后校驗之后，启动工作的第三阶段就結束了。为了簡化第一次装料的手續，"新鮮"的燃料是利用专門設計的装料机来装入反应堆的，而释热元件装到装料机是用手進的。

在第四阶段——最小功率运行——开始以前，点燃区和再生区已装好天然鈾元件，再用点燃区元件逐根更换天然鈾元件使之接近临界。根据預先計算，首先更换了調节組中的元件，其次更换了星形固定部分各銳角处的元件，最后再更换点燃区中間的区域（图3）。启动仪器共有三个互不相关的能調节反应堆中裂变速度的长电离室。三根測量孔道都单独与事故停堆系統連接，当功率过高（超过200瓦）



图3 点燃区固定部分（成六角形）和12个释热元件調节組的俯視图，同时能見到再生区的上栅板

或功率每增加一倍的周期超出規定值（20秒以下）时停堆。为了更容易启动，在活性区附近放置了鐳鈹中子源（重量为10克）。

1959年10月，当更换了126根加濃的释热元件之后，反应堆已几乎达到临界，开始測量各調节释热元件組的效能。

其中一个长电离室得到的測量結果列于图4，

表示了計数速率的倒数值与直到最后活性区达到临界所装載释热元件数目的关系，在所有調节組都位于活性区时所得到的曲綫，用外推法引伸到零，得到反应堆的临界質量。

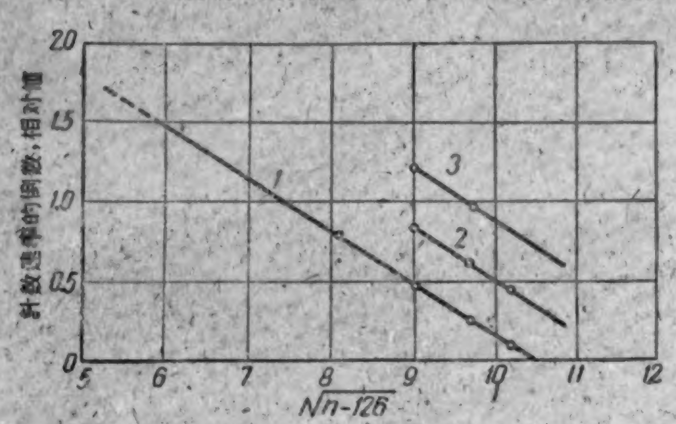


图 4 接近于临界状态的曲綫
1—临界装載量（234 根加浓鈾释热元件）；2—抽出了 6 个調节組；3—抽出了 10 个調节組；n—所装入的释热元件数目。

当更换了 227 根元件后，按計数率的倒数曲綫可得出，将在装入 234 根（其中不包括起調节棒作用的元件）加浓释热元件时，达到临界。后又逐根更换了 10 根元件；求出此时的剩余反应性为 0.5%。然后反应堆准备投入小功率的正常运行。在准备中又測定了調节棒的插入深度，这是对反应堆稳定工作所必需的。在功率每增加一倍等于 40 秒的时間下，达到了 25—30 瓦。

参 考 文 献

[1] *Nucl. Power*, 4, No. 44, 93 (1959).
[2] *Nucl. Power*, 2, No. 14, 238 (1957).
[3] Атомная техника за рубежом, № 4, 75 (1957).
[4] *Nucl. Power*, 4, No. 44, 95 (1959).
[5] *Nucl. Engng*, 5, No. 44, 5 (1960).

拉丁原子能发电站

在拉丁（距罗馬 100 公里）正在建造一座意大利的大型原子能发电站（如图 1），其功率为 200 兆瓦[1]。反应堆的基本特性如下：

类型	热中子均匀型
用途	生产电能
功率：	
电功率，兆瓦	200
热功率，兆瓦	705
反应堆的数量	1
燃料	天然金属鈾
装載量，吨	262.5
最大温度，°C	585
放热元件：	
形状	棒状
长度，毫米	914.4
直径，毫米	29.3
每一根直径为105毫米的垂直管道内的数量	8
复蓋层	厚为 2 毫米的 A12 магнокс 合金（包括肋在内的外直径为57.2毫米；表面——螺旋形肋）
減速剂	"A"型石墨
活性区：	
高，米	7.82
直径，米	12.71
包括反射层在内的砌体总的尺寸	9.42×14.25
石墨的平均温度，°C	306
柵格	方形，間距为 203 毫米（$\theta = 0.57558$，$\varphi = 0.89295$，$\mu = 1.03341$，$\nu = 2.00649$，$\kappa = 1.06572$）
載热剂	二氧化碳
入口处的温度，°C	180
出口处的温度，°C	390
反应堆壳：	
直径，米	20.35
壁厚，毫米	90
总重，吨	1636
工作压力，大气压	12.8
調节系統：	
管道数量	100
粗調节棒的数量	91
精調节棒的数量	9
棒的材料	硼鋼



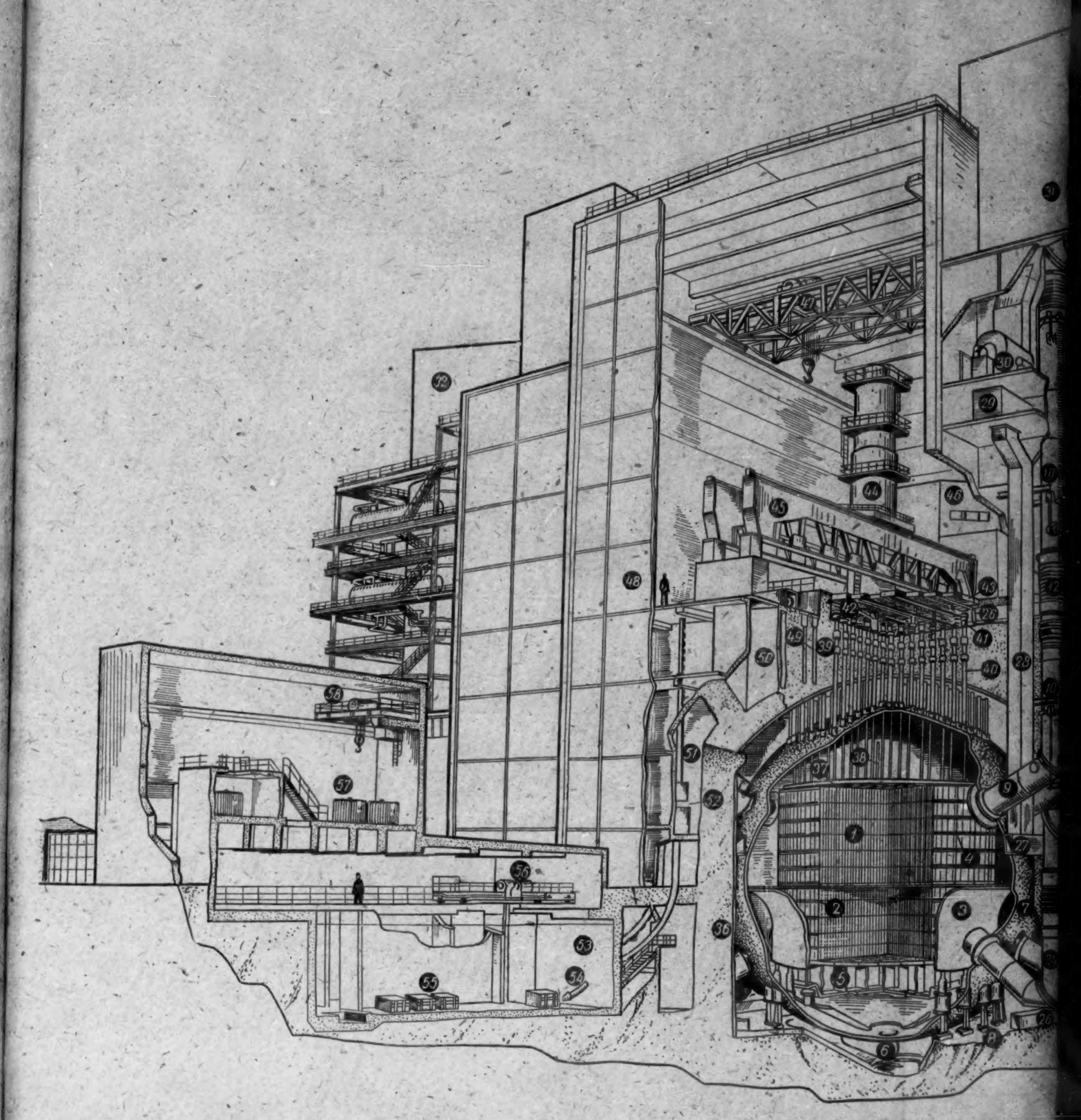
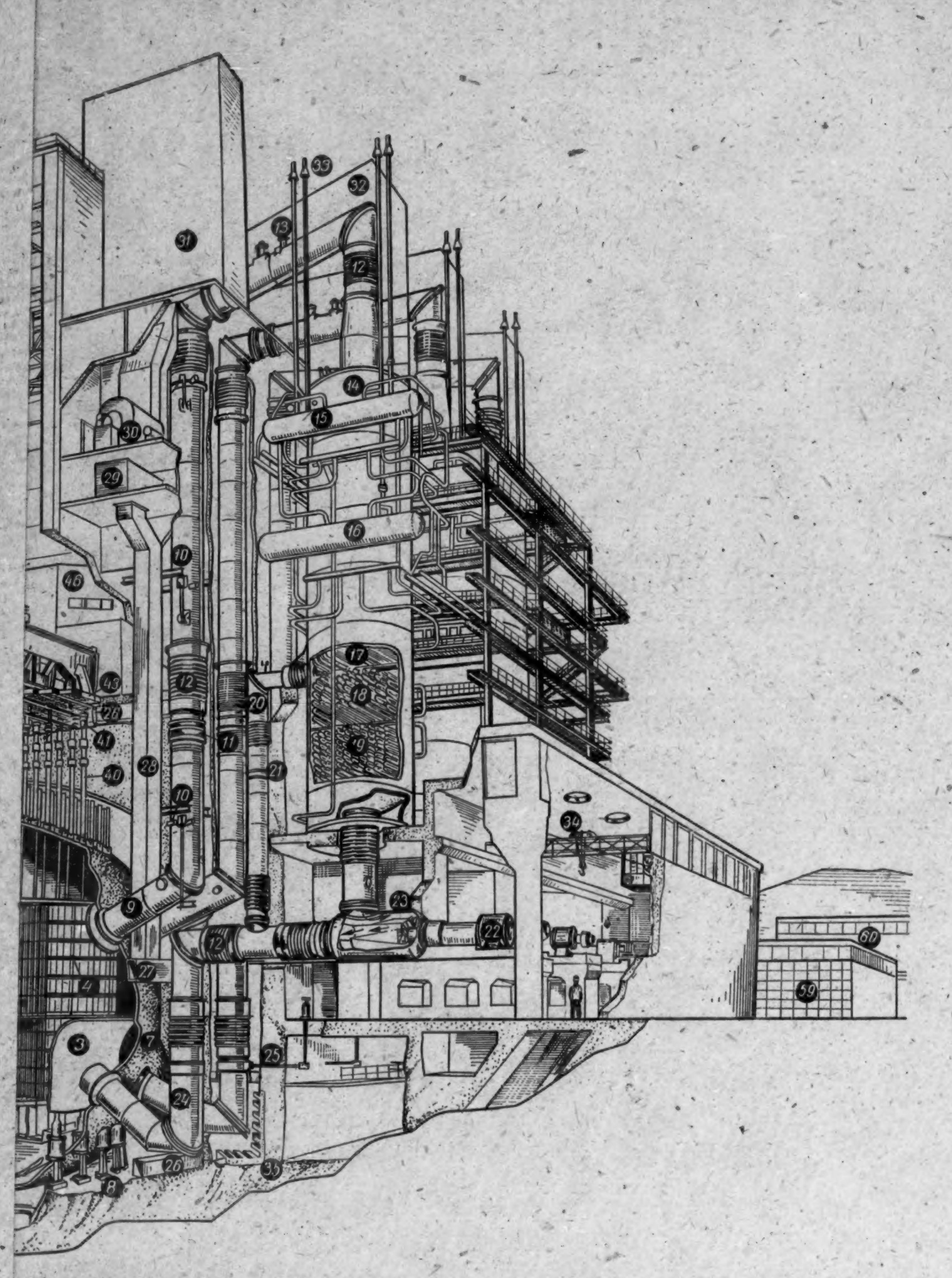


图1 拉丁原子能发电站

1——石墨砌体； 2——联結活性区砌体的护箍； 3——导向隔板； 4——研究維格涅尔效应的石墨样品的提取地点； 5——支撑
9——Co_2 輸出管道； 10——輸出管的吊架； 11——进气閥門； 12——补偿接头； 13——Co_2 輔助压力閥門； 14——蒸汽发生器
蒸发器； 19——低压蒸汽过热器； 20——旁通輸送管； 21——旁通輸送管的閥門； 22——鼓风机馬达； 23——鼓风机； 24——
通风吸收箱； 28——通风井； 29——通风系統的滤器； 30——通风鼓风机； 31——通风管； 32——蒸气发生器的生物防护层；
生物防护层； 37——上部板的装卸漏斗； 38——装卸槽； 39——装卸管道； 40——調节棒的管道； 41——桿的传动装置； 42——
46——負荷控制台； 47——中央大厅的高架起重机； 48——装有玻璃的墙壁； 49——释热元件儲藏室； 50——提升孔道； 51——
55——料斗； 56——保持水池的桥式起重机； 57——容器； 58——容器用的起重机；



能 发 电 站

权地点； 5——支撑柵格； 6——排除破破坏的零件和碎块的管道； 7——反应堆外壳； 8——支桿；
]； 14——蒸汽发生器； 15——低压蒸气筒； 16——高压蒸汽筒； 17——低压节热器； 18——低压
——鼓风机； 24——CO_2 輸入管道； 25——气体輸出管的閥門； 26——进汽通风箱； 27——主要
生器的生物防护层； 33——高压蒸汽排除管； 34——鼓风机室的桥式吊車； 35——防水层； 36——
桿的传动裝置； 42——装卸用閥門； 43——中央室的桥板； 44——裝料机； 45——裝料机的支架；
——提升孔道； 51——裝料孔道； 52——分割释热元件的裝置； 53——保持水池； 54——裝料管；
——容器用的起重机； 59——操纵室； 60——透平机室.

棒的长度，毫米	8350
防护层：	
材料	混凝土，其密度为 2.2 克/厘米^3
厚度：	
侧壁，米	2.56
顶部，米	2.59
冷却	空气
蒸汽发生器：	
数量	6
蒸汽参数：	
高压的	$P = 52.4$ 大气压 $t = 373$°C
低压的	$P = 14.3$ 大气压 $t = 373$°C
主透平发电机：	
数量	3
功率，兆瓦	70
每分鈡的轉数	3000
端头电压，仟伏	11.8

拉丁电站用的反应堆是英国第一个出口的反应堆。卡德尔-豪尔型布拉杜爱尔（Брадуэлл）反应堆的結构是这个反应堆結构的基础。

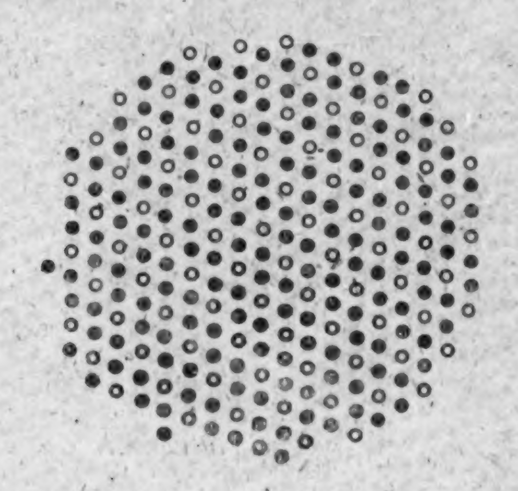
意大利的专家們也参加了这个电站的結构設計工作。

在英国原子能总局的技术援助下，拉丁原子能发电站由英国的"原子核动力工厂"和意大利的"阿格普原子核"公司建造的。选择这个地区是因为意大利中部和南部的能量工作率很大。罗馬和那波里之間的地形調查表明，从經济上和自然条件上看（土壤，20 立方米/秒的汽輪机用水）距拉丁 9 公里和离安齐屋 15 公里的 107 公頃面积的土地最合适。此外，这块土地离运輸綫不远。

在原子能发电站的設計中，获取最大功率和保証反应堆安全可靠的运行是最主要的任务。在設計布拉杜爱尔反应堆时就曾确定，通过反应堆結构的某些改进是可以使其功率从 150 提高到 200 兆瓦。当时曾經决定，在設計拉丁发电站的反应堆时，应把改进反应堆、释热元件和設备方面的研究結果，考虑进去。

改变反应堆的結构不仅是从改进这一目的出发，而且考虑到电站所在地地区条件的特点。后者主要关系到电站各厂房的相互配置、水循环系統、反应堆調节系統的布置和整个装置的輻射安全检查。

把气体压力由 10.3（布拉杜爱尔）增加至 13.8 絕对大气压（拉丁）是主要改进之一。这使得外壳壁的最大厚度增加至 11.1 厘米，而布拉杜爱尔反应堆外壳壁的最大厚度为 10.0 厘米[4]。



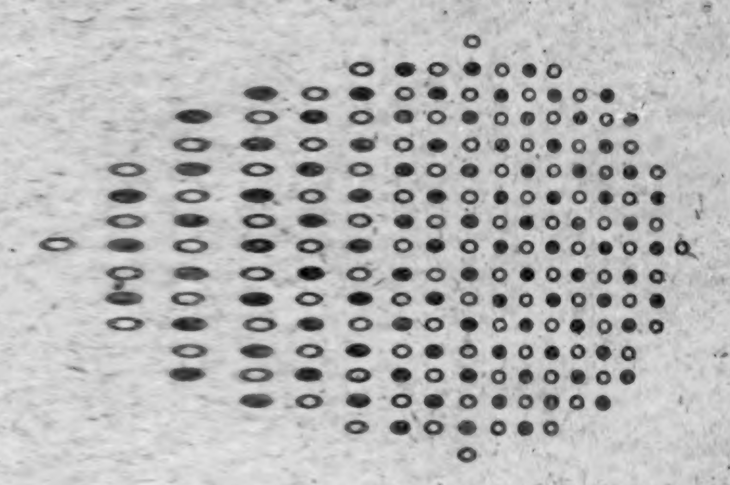


图 2　布拉杜爱尔（左）和拉丁（右）反应堆的轉載管道与調节系統管道的配置图
○—— 轉載管道；●—— 調节棒传动管

为了得到热絕緣，在外壳的內部复上一层带格的金属薄片。对这个絕緣层給予了很大的注意，因为当絕緣破坏时，将通过壳壁損失很多热量。

反应堆內气体压力的增加使我們能够增加反应堆能量强度，从而增加反应堆的热功率。同时释热元件內产生的溫度并未超过临界值：燃料表面的溫度不超过 440°C，鈾棒中央的溫度将不超过鈾的相轉变点。

反应堆活性区的尺寸比布拉杜爱尔反应堆活性区的尺寸稍增大一些（12.2 增至 12.7 米），以便改善平衡中子通量不均匀性所需之条件。活性区的高度未作变动。由于作了这些改变，反应堆的热功率增加了 33%，而蒸气溫度并未变，因此，載热剂的流量发生了相应增加。为了保証載热剂的附加流量，气体引出管和引入管的直径需要由 152 增至 167 厘米。



图 3 拉丁原子能发电站建筑工地

曾采用紧密配置热交换器和在预热器內使用有肋的管子来代替平滑的管子的方法縮减了蒸汽发生器的总尺寸. 这样,拉丁发电站反应堆在蒸气发生器的直径小 (30 厘米)的情况下,可保証比布拉杜爱尔发电站更大的撤热能力 (33%).

由于作了这些改变,热损失量减少了,而电站的效率稍有增加 (由 28.2% 增到 28.4%).

在反应堆工作方面所作的改进主要是減少調节棒的数量. 这便保証了拉丁发电站反应堆的結构对棒和轉載管的配置更加簡易和方便了[4]. 同时簡易了为轉载工作管道而通向工作管道的路径 (图 2).

此外, 对調节棒传动装置的制动設备和調节棒的机械也作了改进.

拉丁发电站从 1958 年 11 月 20 日正式开始建造. 目前正在发电站工地上进行土建工作 (图 3). 电站的造价为 2000 万英鎊. 发电站預計在 1962 年投入工作[5].

参 考 文 献

[1] *Nucl. Power*, **5**, No. 45, 85 (1960).
[2] Р. Воган, Е. Андерсон: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Избр. докл. иностранных ученых. Т. 4—Ядерные реакторы и ядерная энергетика. М., Атомиздат, 1959, стр. 5.
[3] *Energia Nucl.*, **6**, No. 9, 596 (1959).
[4] *Nucl. Engng*, **4**, No. 41, 329 (1959).
[5] *Nucl. Engng*, **4**, No. 34, 39 (1959).

TURRET 高温气冷反应堆

在洛斯阿拉莫斯科学研究室里(美国)[1] 正在設計热功率为 3 兆瓦的氦气冷却反应堆; 反应堆的释热元件无防护包层, 也就是說燃料与載热剂直接接触. 在称为 TURRET 反应堆的运行过程中应該弄清有"沾污"迴路的单迴路反应堆装置所有的优点, 而且要获得解决設計类似装置时特殊問題所需的数据. 反应堆出口处的气体溫度相当高, 甚至可以使用气体透平式发电机. 此外反应堆內所得的热气体 (~1300℃) 可以用来强化高溫化学过程, 例如烟煤的气化.

目前对单迴路反应堆装置能可靠而安全的运行还沒有把握. 因此在 TURRET 反应堆上进行实驗的主要目的是研究反应堆的工作及采用无包层的多孔释热元件时的传热系統.

反应堆的活性区 (图 1) 是有內腔的圆柱体, 它是由石墨块联接成的. 石墨砌块安在石墨反射层內, 而反射层安在包有保溫层的鑄鋼制的旋轉圆形物上. 不用潤滑油工作的旋轉圆形物軸承用气体进行冷却. 浸有高浓集鈾的短圆柱体释热元件被放在径向管道中. 释热元件的外径为 25.4 毫米, 內径为 12.7 毫米, 长为 152.4 毫米. 活性区四周包有固定石墨反射层, 反射层外有保溫层. 活性区是放在結实的压力壳中, 外壳經常保持着较低的溫度. 释热元件是用专門的加料器装入活性区的管道中, 加料器是用压縮气体传动的. 在装入"新"元件时, 最靠

1) R. Hammond et al: *Nucleonics*, **17**, No. 12, 106 (1959).

近中央的內部释热元件被放到中央腔內，然后經过特殊密封的漏斗送到照射燃料的处理装置中。在反应堆全功率工作时，通过轉动旋轉圓形物上的活性区及选择相应的加料器可以进行活性区內任一管道的换装工作。

烧过的释热元件需在小炉內燃烧，炉灰溶于稀酸中。这样溶液內析出的呈过氧化鈾中的裂变产物实际上完全可以除去，而且，鈾的損耗最小。

将过氧化鈾溶于硝酸中，然后将它送回用鈾浸潤石墨的装置。不銹鋼筐中的新石墨元件需装到鈾溶液中，石墨中的鈾含量很容易地通过溶液浓度的改变来調节。"新"释热元件在干燥和焙烧后可通过特殊密封装置送到反应堆的装料設备內。

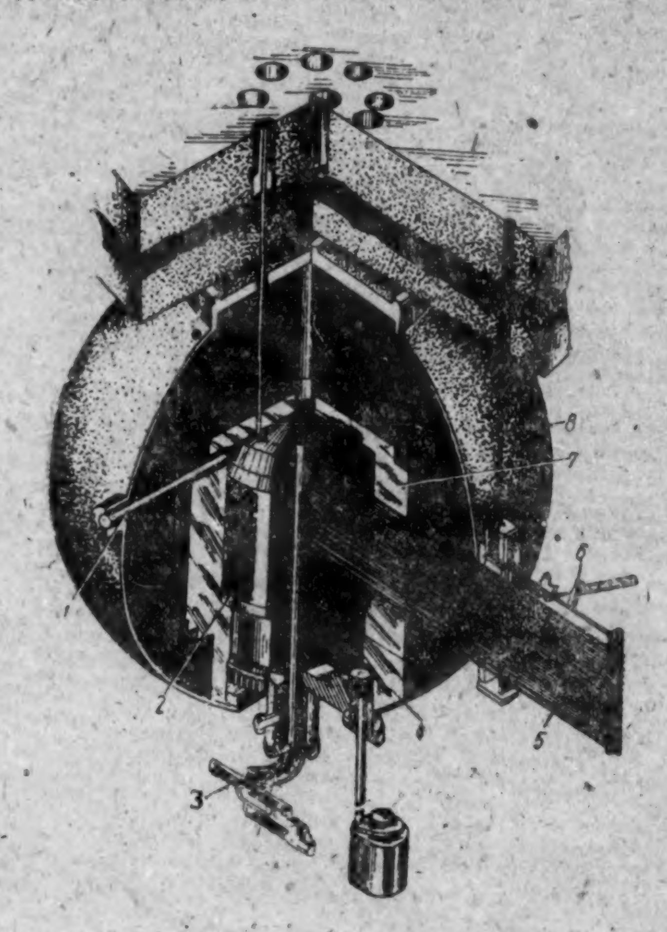


图 1　反应堆的概視图

1—氦气出口(温度为1315°C)；2—轉动的活性区；氦气入口(温度为 870°C)；3—卸释热元件用的密封装置；4—保溫层；5—装料系統的加料器；6—装料系統的密封装置；7—反射层；8—結实的反应堆压力壳.

因为释热元件沒有包层，揮发性裂变产物将会掉入气体載热剂的气流中，据估計，碎片释放速度为 10 毫克/兆瓦小时。部分氦气不断地从迴路中取出，同时經过裂变碎片及其他杂质的純化系統被抽走。

TURRET 装置的工艺流程图如图 2 所示。图中的交流换热器或同流换热器可以用高溫过程装置或高溫气体透平代替。反应堆的功率可通过改变氦气压力来調节，也就是說当鼓风机保持恒速时改变載热剂的重量流量。工作温度将通过改变燃料換装速度和释热元件的浸潤浓度来調节，工作时的剩余反应性实际上等于零。事故停堆的石墨棒用硼浸潤，在活性区外围的固定石墨部分考虑有装棒的管道。当气密磁离合器断电时棒就下降。

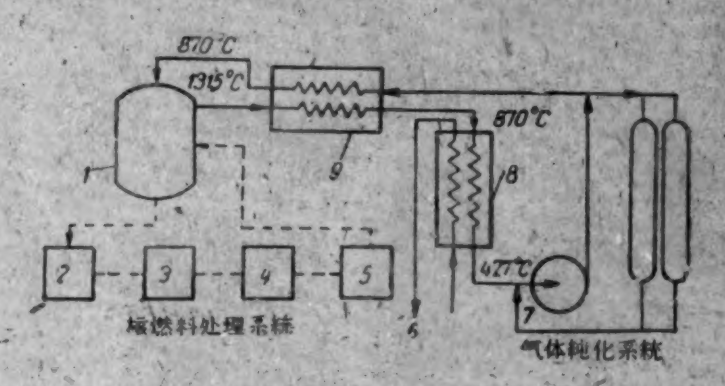


图 2　装置的工艺流程图

1—反应堆；2—照射过燃料的燃烧炉；3—除去照射燃料中裂变碎片的純化部分；4—用鈾浸潤石墨部分；5—释热元件干燥及焙烧部分；6—接至导热系統；7—鼓风机；8—热交换器；9—同流換热器.

在 TURRET 装置上应进行下列工作：

1．研究揮发性裂变碎片所沾污的載热剂連續純化系統的效率。如果能达到高純化度，則自反应堆洩漏的載热剂危害性就大大減小，因为載热剂中只剩下短寿命放射性产物；

2．研究"沾污"載热剂装置条件下机械設备(鼓风机，閥件，热交换器)的运行和修理过程。部分裂变产物将成为非揮发性物质（或随非揮发性物質的生成而衰变），它們与气体純化系統的效率无关，这些产物将沉积在气体迴路的各个部分。目前对有关半衰期，去除这些沉淀方法，設备維护困难以及設备专門防护必要性等方面尚未获得可靠資料；

3．检查燃料处理的簡易价廉系統的工作情况，該系統中照射过的石墨释热元件經燃烧及最低限度的化学处理后可得到浸潤新石墨元件用的鈾溶液。

TURRET 反应堆建造和运行的工作計划中規定，装置的設計工作在 1960 年結束，实驗研究工作預計可在 1962 年在洛斯阿拉莫斯开始。

中子截面的新数据

1959年伯鲁克海文国家实験室（美国）[1)] 已为“中子截面图集”第二版的附录准备了 U^{233}, U^{235} 及 Pu^{239} 裂变同位素中子截面的新数据[1]. 所有值都是属于中子能量为 0.0253 电子伏(速度为 2200 米/秒)的中子截面.

热中子裂变同位素的截面

同位素及参数	美国	英国	苏联	法国	加拿大	挪威	印度	世界平均値	世界公認値
U^{233}									
σ_a, 靶	577±4	587±8	590±20	不詳	不詳	不詳	不詳	580±4	578±4
σ_f, 靶	526±4	527±10	525±15	不詳	518±4	521±20	不詳	523±3	525±4
$1+\alpha$	1.098± ±0.004	1.11± ±0.02	1.100± ±0.005	不詳	不詳	不詳	不詳	1.099± ±0.003	1.101± ±0.004
$\nu_{有效}$	2.28± ±0.02	2.24± ±0.04	2.31± ±0.02	不詳	不詳	不詳	不詳	2.29± ±0.01	2.28± ±0.02
ν	2.50± ±0.03	2.49± ±0.04	2.62± ±0.10	不詳	不詳	不詳	不詳	2.50± ±0.02	2.51± ±0.02
U^{235}									
σ_a, 靶	682±3	699±11	695±20	不詳	不詳	不詳	不詳	663±3	683±3
σ_f, 靶	581±6	583±10	570±15	584±20	569±6	587±16	555±15	582±4	582±4
$1+\alpha$	1.144± ±0.010	1.20± ±0.02	不詳	不詳	不詳	不詳	不詳	1.179± ±0.009	1.174± ±0.010
$\nu_{有效}$	2.07± ±0.02	2.03± ±0.04	2.08± ±0.02	不詳	不詳	不詳	不詳	2.07± ±0.01	2.07± ±0.01
ν	2.43± ±0.03	2.43± ±0.03	2.54± ±0.10	不詳	不詳	不詳	不詳	2.43± ±0.02	2.43± ±0.02
Pu^{239}									
σ_a, 靶	1030±10	1004±24	1035±20	不詳	不詳	不詳	不詳	1028±8	1028±8
σ_f, 靶	751±10	717±14	715±30	770±20	741±5	不詳	不詳	742±4	742±4
$1+\alpha$	1.37± ±0.03	1.40± ±0.04	不詳	不詳	不詳	不詳	不詳	1.38± ±0.02	1.39± ±0.03
$\nu_{有效}$	2.07± ±0.04	2.07± ±0.06	2.08± ±0.02	不詳	不詳	不詳	不詳	2.08± ±0.02	2.08± ±0.02
ν	2.84± ±0.06	2.89± ±0.04	3.02± ±0.10	不詳	不詳	不詳	不詳	2.89± ±0.03	2.89± ±0.03

表中采用下列符号：

σ_a——輻射俘获和伴随裂变俘获的吸收截面；

σ_f——裂变截面；$1+\alpha$——俘获截面与裂变截面之比；$\nu_{有效}$——一个吸收中子所拥有的中子数；

ν——一次裂变的二次中子数.

这些常数通过下列关系式相互联系

$$1+\alpha=\sigma_a/\sigma_f;\quad \nu_{有效}=\frac{\nu}{1+\alpha}.$$

运用上述关系式及使个别常数相符合的方法，从世界平均值中求出世界統一值.

新数据和 1958 年的結果相比較[2]，其精确度約大一倍. U^{235} 裂变常数的最大改变不超过 1%.

参考文献

[1] D. Hughes et al. BNL-325 (II), Suppl. I. 即将公布.

[2] D. Hughes, R. Schwartz: BNL-325 (II) (Supt of Documents, Washington, D. C., July 1, 1958).

1) D. Hughes, Nucleonics, 17, No.11, 132 (1959).

U^{235} 裂变的参数

裂变理論发展的成就和反应堆計算方法的改进要求进一步明确裂变过程的特性。因此哥伦比亚大学（美国）曾对热中子能量区 U^{235} 裂变参数的所有测量进行重新研究[1]，测量仪表在該热能范围内具有良好的分辨率。通过研究，使我們明确了个别参数測量的精确度，并回答了那些参数有待进一步明确的問題。

为了全面地闡明裂变过程，需要对下列每組中至少一个参数进行絕对测量[2]：1) σ_t；2) σ_s 或 σ_a；3) σ_f，σ_c 或 α；4) $\nu_{有效}$ 或 ν。在各个实驗室內除 σ_a 和 σ_c 外，对所有参数已进行过直接絕对测量。这些测量結果經分析后，将所得的 U^{235} 裂变八个参数的所謂"最好"值列入如下：

参　数	"最好"值
σ_t，靶	694 ± 1.3
σ_s，靶	15 ± 2
σ_a，靶	679 ± 3
σ_f，靶	580 ± 12
σ_c，靶	99 ± 13
$\nu_{有效}$	2.07 ± 0.02
ν	2.43 ± 0.02
α	0.172 ± 0.01

而且 $\sigma_t=\sigma_s+\sigma_f+\sigma_c$；$\sigma_a=\sigma_f+\sigma_c=\sigma_t-\sigma_s$；$\alpha=\sigma_c/\sigma_f$；$1+\alpha=\sigma_a/\sigma_f$；$\nu_{有效}=\nu/(1+\alpha)$。

σ_t 值是最近美国各实驗室所得的四个值的平均結果。σ_t 的这四个数值在测量精确度为 0.5—1.0% 范围內相互符合。

吸收截面 σ_a 是由总截面和散射截面 σ_s 求得的。因为在能量为 0.0253 电子伏时 σ_s 的测量沒有进行，所以該值或是将 σ_s 从 0.27—7.7 电子伏能量区向热能区外推测得，或是根据势垒散射和相干散射的理論計算而求得的。

本文中所分析的裂变截面测量是用两种方法进行的。用第一种方法求出与 σ_a 組合的 $1+\alpha$ 值。用第二种方法根据已知重量样品在校正过的中子通量中的裂变計算測量出 σ_f。虽然在最近的测量中各值不一致（从 552 靶至 605 靶），但 σ_f 个别测量的精确度达到1%。

所求得的俘获截面 β 是 $\sigma_a-\sigma_f$ 之差值。

能量为 0.0253电子伏时 ν 和 $\nu_{有效}$ 的测量（上述数值是根据它們求得）在 $\nu_{有效}$ 測量誤差为 2—3%及 ν 测量誤差为 4—5% 范围內相互符合。

本文著者認为，由于这些参数对原子核反应堆計算及裂变理論具有重要意义，所以必須进行 ν 和 $\nu_{有效}$ 的补充直接测量，誤差不超过 1%。

1) G. Safford, W. Havens. Nucleonics, 17, No. 11, 134 (1959).（书报介紹包括有 49 种刊物）。

2) 参数的符号在上篇文献內已有注明。

外国的新鈾矿床

1958—1959 年在外国的領土上进行了大力的鈾矿床普查。經过普查，在許多过去沒有自己鈾原料基地的国家（芬兰、墨西哥、西德、西班牙等）都发现了工业矿床。由于在美国和澳大利亚找到了重大的发现，从而使已查明的鈾矿儲量有了极大的增长。在許多国家找出一些今后普查和勘探大有前途的地区。

表中对 1959 年发现的新鈾矿床做了簡单的介紹。此外，表中还包括了在彙編中[1]沒有的，前几年发现的某些矿床的資料。在插图中（見 388—389 頁之間粘入的一頁）注有矿床大致的地理位置；图中的数字与表中矿床的順序編号相符合。

庫里科娃（Е. Я. Куликова）
什別科多洛娃（В. И. Шпекторова）

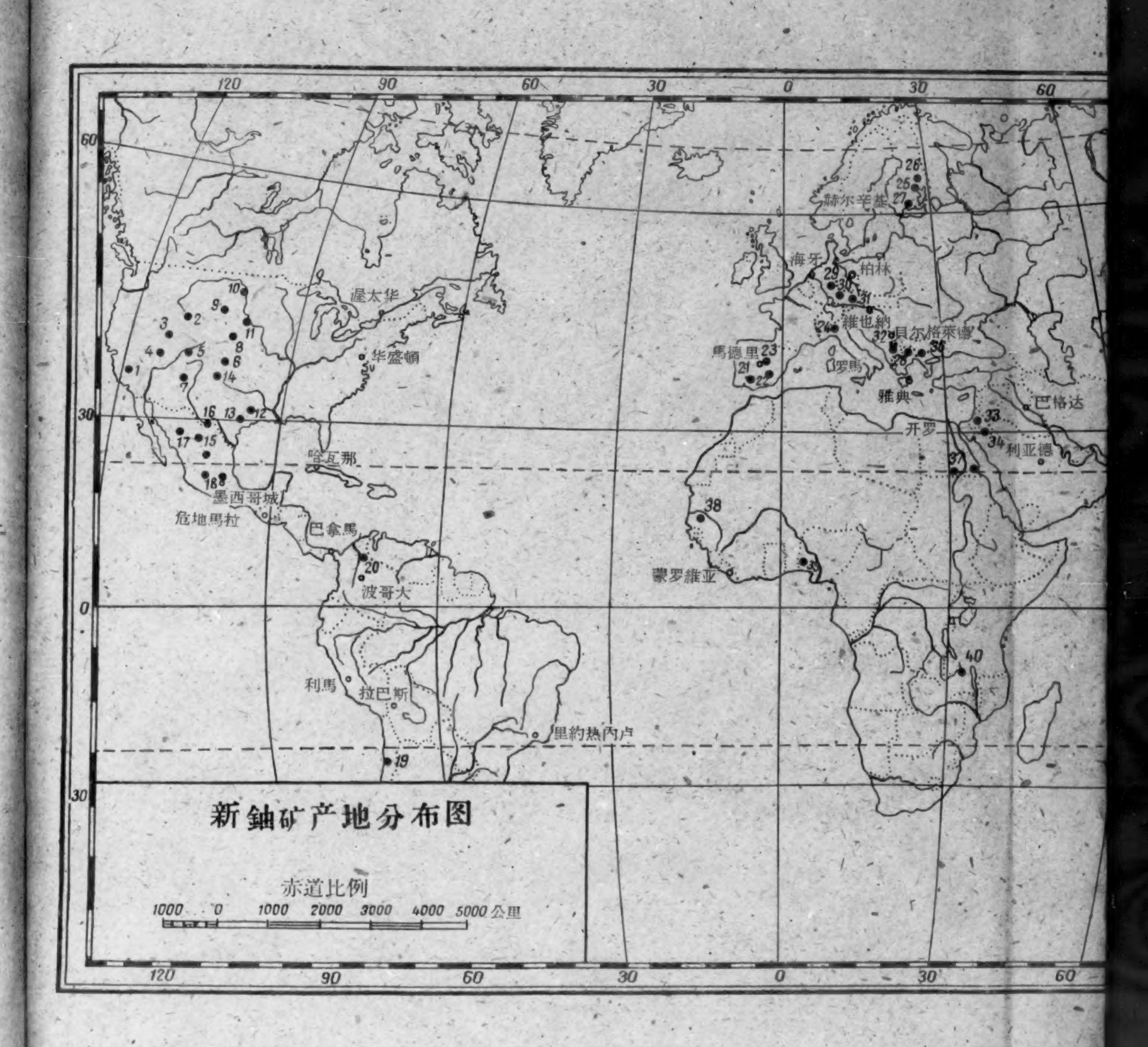
参 考 文 献

[1] *Атомная энергия*, 6, вып. 1, 88 (1959).
[2] *Calif. Mining J.*, 28, No. 1, 18 (1959).
[3] *Mining World*, 20, April 15, 107 (1958); 20, No. 6, 78 (1958); 20, No. 13, 58 (1958); 21, No. 3, 73 (1959); 21, No. 7, 87 (1959); 21, No. 11, 59 (1959).
[4] *South-African Mining and Engng J.*, 69, No. 3421, 479 (1958).
[5] *Econ. Geol.*, 54, No. 1, 1 (1959); 54, No. 3, 436 (1959).
[6] *Engng and Mining J.*, 160, No. 3, 114 (1959); 160, No. 4, 194 (1959).
[7] *Mining Congr. J.*, 44, No. 6, 106 (1958).
[8] *Uranium Mag.*, 5 No. 4, 12 (1958).
[9] E. Heinrich: Mineralogy and Geology Radioactive Raw Materials. New York, 1958.

新鈾矿床的简介

图上的编号	国家	位置	简单情况	文献来源*
1	2	3	4	5
1	美国	加里福尼亚州圣鲁伊斯奥比斯波附近的諾瓦霍	确定有鈾矿化，U_3O_8 品位从0.20到0.68%	[2]
2	,,	爱达荷州斯坦利东北的卡斯杰尔	找到了中等品位的鈾矿石，有2000吨	[3](3)
3	,,	內华达州的瑪溫金希季	发现了鈾矿化	[3](6)
4	,,	內华达州的奧斯金	确定有鈾矿化，U_3O_8 品位为0.2%	[4]
5	,,	犹他州的謝尔克尔克里福斯	在三迭紀馬西科比建造的粉砂岩中发现了鈾矿化．矿石成分：閃鋅矿、黃鉄矿、白鉄矿、瀝青鈾矿．个别样品中 U_3O_8 的含量从1到4%	[5](3)
6	,,	科罗拉多州的科赫托巴、薩貫阿赫，干尼松	发现了热液鈾矿床	[5](1)
7	,,	亚利桑那州的卡麦伦	开始开采鈾矿石(月采500到1500吨)	[3](3)
8	,,	怀俄明州，卡斯別尔以南的什尔里別欣	烏因德河建造第三紀沉积中发现了矿床．鈾矿石的儲量确定有4百万到5百万吨，U_3O_8 的品位为0.5到1%以上	[6](3)
9	,,	蒙塔納州，比林格斯以南的普莱奥尔	发现了鈾矿化	[3] (aprilis 15)
10	,,	北达科塔州，波烏明	发现鈾矿床	[7]
11	,,	南达科塔州；布法洛	报导发现和調查含矿区	[8]
12	,,	特克薩斯州哈尔德利	在第三紀沉积中发现了几个鈾矿床，矿石中 U_3O_8 的平均品位0.13%	[9]
	,,	特克薩斯州，卡伦斯希季区，托齐拉山	发现鈾矿床．矿化作用为鉀釩鈾矿，釩鈣鈾矿，鈣鈾云母和矽鈣鈾矿	[9]
13	,,	特克薩斯州，薩姆普列，福利里	在中新統砂岩中确定有鉀釩鈾矿	[9]
14	,,	新墨西哥州，安布罗西亚湖区，布莱克詹克1，布莱克詹克2	发现了两个工业矿床．一号地区的鈾矿儲量为60万吨，U_3O_8 品位为0.30%．二号地区的儲量为8万吨，U_3O_8 的品位为0.40%．	[3](11)
15	墨西哥	契瓦沃州，阿尔达馬东北的謝拉戈麦斯契瓦沃以西，圣托多馬斯	报导开采矿床，鈾矿石含 U_3O_8 达0.6—0.8% 查明有9000吨鈾矿石儲量	[10](187)；[11]
16	,,	契瓦沃州，奧西那戈西北30公里的波克利亚奇卡	发现有工业意义的鈾矿床	[10](187)；[11]
17	,,	索諾拉州的托尼奇	发现了銅、鈾矿石一百万吨，含鈾2000吨	[10](187)
18	,,	瓦哈卡州，都兰戈，克列达罗	发现有鈾矿化作用	[10](187)
19	智利	有科基姆堡和阿塔卡馬省	发现6个鈾矿床	[12] (may annual)
20	哥伦比亚	拉巴哈区	发现了热液鈾矿床．脉中 U_3O_8 含量为0.04—0.1%到0.22%	[9]
21	西班牙	科尔多瓦和赫安省，圣都阿里奧区，卡尔杰那	报导开采鈾矿石，矿石为与銅、鎳、鈷、鉄共生的鈣鈾云母和銅鈾云母	[13—15]
	,,	圣都阿里奧区，杰斯別那別罗斯	在奧陶紀石英岩中找到了鈾	
22	,,	巴达霍斯省，阿里布克尔克	报导有带瀝青鈾矿的热液矿床	[13—15]
	,,	烏埃里瓦省，桑塔巴拉巴拉	发现了高品級的鈾矿石	
23	,,	謝戈維亚和馬德里达区	确定第三紀陆相沉积有較高的放射性	[13—15]
	,,	薩拉曼卡，薩馬拉省	找到了鈾矿物	
24	意大利	圣多那托，米拉那区	报导处理质量高的鈾矿石	[16](1)
25	芬兰	庫奧比奧以东，埃諾	发现了在大面积上分布的鈾矿床，矿床已經进行开采	[10](181)
26	,,	科里，皮埃利西亚尔維湖西岸	在前寒武紀石英岩和礫岩中找到了瀝青鈾矿脉和浸染体	[16](4)
27	,,	阿斯科拉，赫尔辛基以北	找到了鈾矿化	

* 圓括弧中的数字表示杂志的号碼．


渥太华
华盛顿
哈瓦那
墨西哥城
危地馬拉
巴拿馬
波哥大
利馬
拉巴斯
里約热内卢
蒙罗維亚
馬德里
海牙
柏林
赫尔辛基
維也納
貝尔格萊德
罗馬
雅典
开罗
巴格达
利亚德
赤道比例
1000 0 1000 2000 3000 4000 5000 公里

新鈾矿产地分布图



60
90
120
150
180
47
48
东京
巴格达
喀布尔
德里
35
科伦坡
30
0
46
45
44
42
43
30
41
堪培拉
49
惠灵顿
60
90
120
150
180

表(續)

图上的編号	国家	位置	簡单情况	文献来源*
1	2	3	4	5
28	希腊	卡瓦拉,得拉馬,汗季,希季罗卡斯特罗姆,索罗尼基	发現了鈾矿石和釷矿石	[12] (may annual)
29	西德	萊茵兰德普法尔茲和沙尔区	报导在埃尔維列拉附近的布赫尔斯科普弗发現了工业鈾矿床．在这里已經开始处理鈾矿石、鈾儲量約80吨,矿石中 U_3O_8 平均含量为 0.11—0.12%	[10](199)
30	,,	巴瓦利亚的富兰科尼亚	发現了鈾矿床, U_3O_8 的平均品位达 0.08%	[10](190)
	,,	波根,巴瓦尔斯基森林	发現鈾矿化	[10](182)
	,,	巴瓦利亚的維先什塔特	发現鈾矿化,鈾儲量为 70 吨	[12](6480)
31	,,	巴瓦利亚的維巾多尔福	发現鈾矿化,鈾儲量 30—40 吨	[12](6480)
	,,	巴瓦利亚的季尔申列依特	在花崗岩地块中发現鈾矿化,鈾儲量 20—30 吨.	[12](6480)
	,,	巴瓦利亚的科什金戈	确定有鈾矿物	[12](6480)
	,,	巴瓦利亚的什溫托尔弗	在褐煤中找到鈾．鈾儲量約 40 吨	[12](6480)
	,,	巴瓦利亚的法尔根别尔戈	发現鈾矿化,鈾儲量 30 吨	[10](201)
32	南斯拉夫	馬克多尼亚的茲列多沃	在老鉛鋅矿床中发現鈾	[9]
	,,	馬克多尼亚的阿列沙尔	在老銻矿床中发現鈾与銻和砷共生	[9]
33	以色列	涅古耶夫	在上白堊紀的褶皺建造中发現含鈾磷块岩	[9]
	,,	意烏杰亚沙漠	在白堊紀山唐尼亚建造的磷块岩中确定有鈾	
34	約旦	阿馬那以北,埃尔鲁謝法	发現上白堊紀含鈾磷块岩	[9]
	,,	扎尔戈,那戈布伊什塔尔	发現含鈾磷块岩	
35	印度	特列希諾波里,馬德拉斯附近	在白堊紀粘土中发現含鈾磷块岩, U_3O_8 含量达 0.01%, 矿石儲量約 8 百万吨	[9]
36	土耳其	埃及尔涅,于保加利亚交界处	发現瀝青鈾矿,与方解石、黄銅矿、方鉛矿共生	[9]
37	阿联	沙发戈	报导开采磷块岩, 該磷块岩沿紅海岸分布 30 公里	[9]
	,,	四白亚,埃尔哈尔戈,达赫拉	发現含鈾磷块岩	[9]
38	塞納加尔	季耶斯	发現含鈾磷块岩,富鈦,含有螢石、釩和氟.其中的鈾含量为 0.04%	[9]
39	尼日里亚	阿别奥庫塔	发現始新世的含鈾磷块岩	[9]
40	尼亚薩兰	里溫戈斯托尼亚	发現含鈾磷块岩,含 U_3O_8 达 0.73%	[9]
41	澳大利亚	維克多利亚州列依克波戈	在花崗岩中发現工业鈾矿床	[17]
42	,,	昆士兰州,烏埃斯特莫兰	在很大的面积上发現了次生鈾矿物	[18]
43	,,	昆士兰州,馬翁特埃扎以东 17 公里的矿床	发現鈾矿床,矿石儲量 80 万吨	[3](7)
	,,	昆士兰州,馬翁特埃扎 40 公里的斯卡斯	发現鈾矿床,矿石儲量 20 万吨	[3](7)
44	,,	西澳大利亚州,烏茵得戈姆东南100公里的杰涅姆	发現鈾矿床	[19]
45	,,	北部領土州的巴列杰,斯列依斯别克	报导开始开采矿床	[20]
46	菲吉羣島	瓦奴阿列屋	发現鈾矿物	[21]
47	日本	秋田县	发現鈾矿床．个别样品中的 U_3O_8 含量达 0.64%	[10](214)
48	,,	新泻县	发現鈾矿化, U_3O_8 的品位为 0.11%	[10](214)
49	新西兰	烏埃斯特波尔特	确定岩石有較高的放射性	[12](6480)

[10] *Appl. Atomics*, No. 181, 13; No. 182, 18; No. 187, 19; No. 190, 19; No. 199, 18; No. 201, 17; No. 214, 17 (1959).

[11] *Mines et metallurgie*, No. 3532, 532 (1959).

[12] *Mining J.*, **252**, May (annual), p. p. 203, 240 (1959): **252**, No. 6480, 114 (1959).

[13] M. Alia et al: Доклад № 1419, представленный Испанией На Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958).

[14] *Chem. Ind.*, **10**, Nr. 12, 706 (1958).

[15] Д. Перес: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Избр. докл. иностранных ученых. Т. 8—Геология атомного сырья. М., Атомиздат, 1959, стр. 255.

[16] *Atomwirtschaft*, **IV**, Nr. 1, 41 (1959); **IV**, Nr. 4, 179 (1959); **IV**, Nr. 6, 235 (1959).

[17] *Mining Mag.*, **C**, No. 2, 101 (1959).

[18] *Indian Mining J.*, **6**, No. 7 (1958).

[19] *Geol. Mag.*, **XCVI**, No. 3, 177 (1959).

[20] D. Greenhalgh, P. Jeffery: *Geochim. et cosmochim. acta*, **16**, No. 1/3, 51 (1959).

[21] *Overseas Geology and Mineral Resources*, **7**, No. 2, 187 (1958).

照射材料用的工业装置

建造在烏翁基日(Уонтидж)(伦敦以西)的药品輻射消毒的工业装置已开始运轉。該装置內使用放射性为150000居里的鈷源(Co^{60})。其生产率每昼夜为7兆拉特/吨。将来准备把源的放射性增大到500000居里[1]。

照射装置設备及照射材料供应流程图如图1和

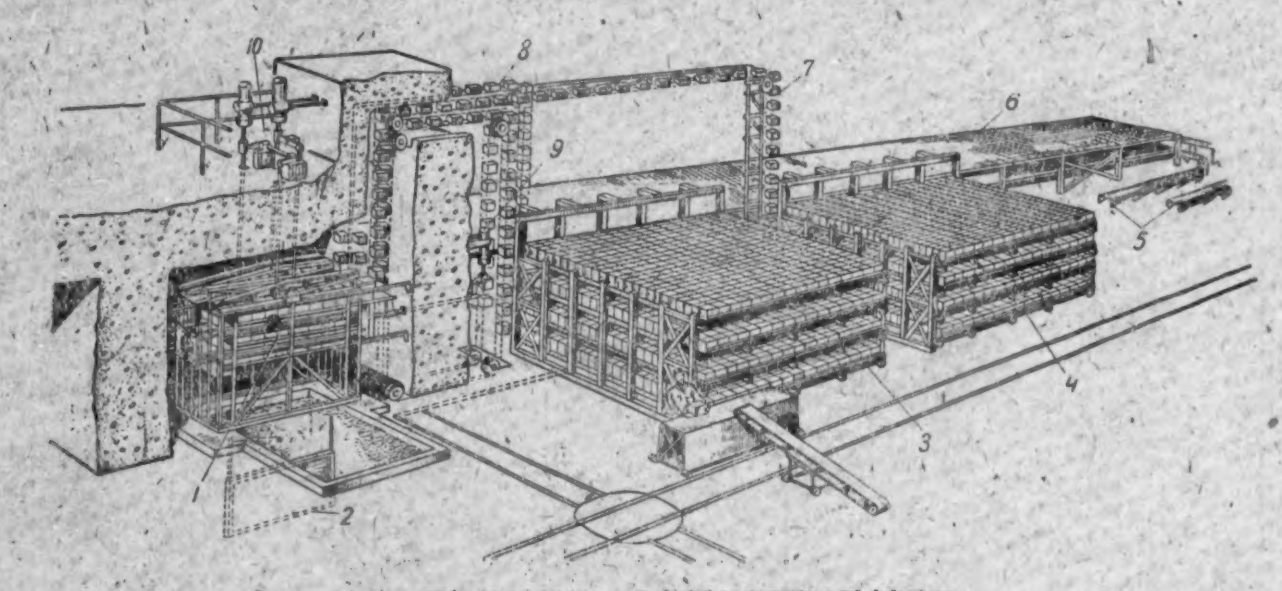


图1 照射材料用的工业装置的概視图及剖面图

1.照射室; 2.輻射源(非工作状态下); 3.1号原料仓庫; 4.2号原料仓庫; 5.卸料輸送器; 6.消毒过的材料仓庫; 7.原料輸送器; 8.消毒过的材料輸送器; 9.移动小室內照射材料的水平伺服机构; 10.移动小室內照射材料的垂直伺服机构。

2所示[2]。整个装置分布在1000平方米的面积上。装置分照射及非照射材料貯存室，自动运輸綫路系統及四周有混凝土块壁的照射室。

装置結构可以照射占据容积(包装內)30立升的材料。包装好的材料自动地从倉庫里送至輸送器推入照射室，在这里根据消毒所需之剂量大小停放6分鈡到40小时之久(此时的剂量范围将从10000改变到500000拉特。照射室內装有供观察小室內每一組药品移动情况用的«追踪»設备。

供料及检查系統能保証消毒材料所要得到的精确照射剂量。

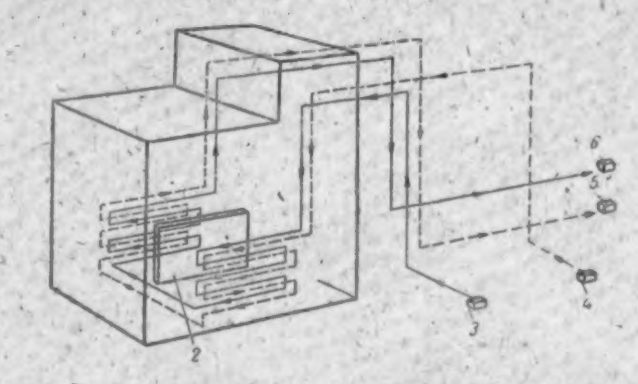
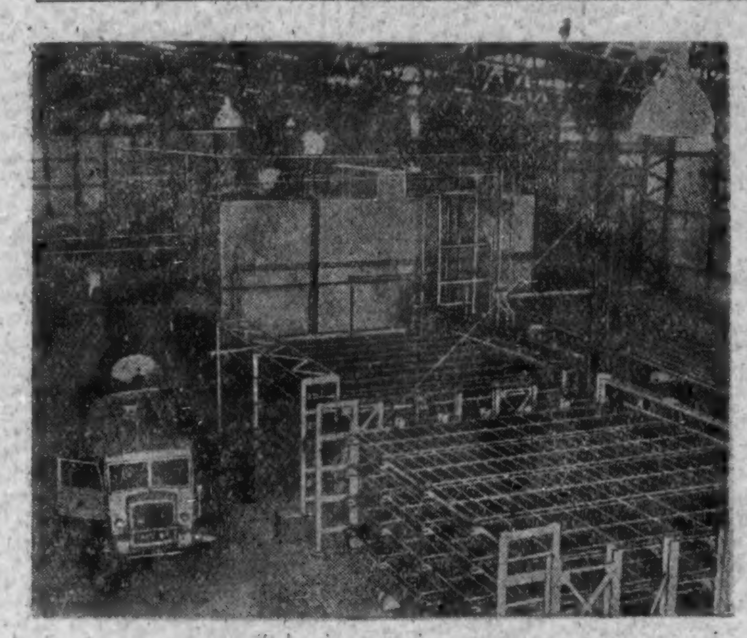


图2 材料供应及照射的輸送綫路流程图

1.照射室; 2.源; 3.来自1号貯存室; 4.来自2号貯存室; 5.送至下部貯存室; 6.送至上部貯存室。


图 3 工业用照射装置的建造概视图

当輸送器损坏和停下来时，鈷源自动降入有水的保护坑道內。图 3 表示烏翁基日地区的装置的建造工程。在后部平面图上可看見第二照射室，它将第二批投入工作。由于使用損耗率低及显著的消毒效率(装置上使用消毒的外科器械，減少了动手术时血中毒的机会[3])，因而引起了人們对工业照射装置的建造及进一步提高它的生产率給予极大的注意。

在离美尔本（Мельбурн）(澳大利亚）不远的地方也在建造与英国相似的装置。該装置供織地毯的羊毛消毒之用。

美国計划建造的食品消毒装置（采用放射性为2.2兆居里的鈷源）目前正处在討論阶段[4]。

参 考 文 献

[1] *Nucl. Engng*, 4, No. 42, 410 (1959).
[2] *Engineer*, 395 (1959).
[3] *Nucl. Engng*, 4, No. 42, 408 (1959).
[4] *Nucleonics*, 17, No. 11, 26 (1959).

簡 訊

保加利亚 科学院正在着手建造 ИРТ 型核反应堆的研究中心，此种反应堆的建造将由苏联帮助进行，它是供中子物理实驗用的。

德意志民主共和国 1960 年 2 月初，在柏林德意志民主共和国和波兰人民共和国的代表根据1957年的政府协定，就进一步在和平利用原子能方面的合作問題，举行了会談，会談結果制定了 1960 年二国之間的合作計划。

美国 原子能委員会报导，小临界实驗性气冷核反应堆装置已于 1960 年 2 月 23 日在爱达荷-弗尔斯反应堆实驗站开始运行。这种装置在順利工作的情况下，还打算建造一座便于运輸和可装卸的原子发电站，重量小于三十八吨(除了反应堆和将热轉变为电能的装置)，用一架大型运輸飞机或者用一輛掛有拖車的标准軍用載重汽車就可以能够将发电站的四个組成部分运至边远地区。报道中說，"通用航空"公司已經正在为这种发电站用的反应堆制造模型，模型将于 1961 年初制成。

捷克斯洛伐克 捷克第一座迴旋加速器于 2 月19日起动，迴旋加速器的設备是苏联供給的，苏联在按装和調整工作上还給予援助，这台加速器将用来进行研究中子物理和生产人造放射性同位素。

南斯拉夫 南斯拉夫原子能委員会和国际原子能事业局关于在貝尔格萊德附近的，以克德里奇（Б. Кидрич）命名的研究所內进行剂量实驗一事达成了协議，实驗进行的目的，为了精确测量研究所在 1958 年 10 月 15 日临界装置失去控制时期工作人員所受到的中子和 γ 射綫照射的剂量。

实驗和实驗的准备工作将由国际原子能事业局进行，而发生事故的临界装置由南斯拉夫原子能委員会負責。临界实驗装置在实驗期間将达到临界状态；并在四小时內功率为 5 瓦，而后一小时內功率为 500 瓦，在这个时間內，将进行仔細的剂量测量。

实驗将于 1960 年 5 月底結束，实驗結果亦将公布出来。

新 書 介 紹

最 新 文 献

書籍·文集·杂志

輻射化学基础

莫斯科-列宁格勒-苏联科学院出版社 1959 年，459 頁.

这本书特别引起讀者的兴趣，因为它是在苏联輻射化学学校創始人赫洛平（В. Г. Хлопин）的思想指导下写的，书的作者是他最亲近的学生和多年的同事.

在专門文献中第一次对放射性同位素性态的規律作了系統的敍述，这和极少量液縮物質性态規律的研究結果一样.

作者把輻射化学看成是一門独立的科学，它是利用原子能和放射性同位素作为示踪原子的应用的理論基础. 书中着重于测定法和研究方法的問題，詳細地研究了液相、汽相、固相的放射性同位素的微观状态，引証了在非均匀系統中放射性同位素微量分布的系統資料. 提出了放射性同位素吸附过程新的分类方法.

书中有一章专門論述放射性物質的电化学部分，这无論从实践或純科学观点来看都有很大意义.

在每一章的后面都列有与书中敍述問題有关的大量的参考文献目录.

这一本书对于輻射化学和有关相近科学范围內的研究工作者有很大用处，并且还可以作为大学生和研究生的教学参考书.

Materials for Nuclear Reactors（核反应堆的材料）Ed. by B. Kopelman, New York, MacGraw-Hill Book Co. 1959. 411pp[1].

这本书是由好几个作者所写的，书中引用了近十五年来在文献、杂志和有关会議的报告中所发表过的数据，本书的基本目的是对一些从事堆材料工作或准备着手这方面工作的专家能給予一般的初步指导.

本书共有十章、內容包括有在堆建造中所用到的材料，及其冶炼加工，物理、化学、机械性能、輻射作用下的性态.

书中所涉及問題的討論都带有一般性，并且利用不太多的表格、图解来論証一些結論，在詳尽的数据后面，作者为讀者在每章书末引出大量的文献和摘要.

在第一章中介紹了有关鈾、釷、鈽化合物的提取和加工工艺的概括知識，在第二章中列出了有关鈾、釷、鈽、鈹和它們的某些合金、化合物的物理、化学、机械的基本数据，其中还研究了某些类型陶瓷燃料的性質，例如二氧化鈾，带有石墨的碳化鈾. 书的第三章介紹了释热元件的制备，作者强调粉末冶金学在这个生产部門的重要意义. 热元件复盖层不同形式以及它的处理方法，甚至于接触底层的制造在这里也都进行了研究，并且还談到单个元件和組件的联結方法和陶瓷释热元件的制备. 第四章所介紹的是一些热元件的試驗方法：1)无破坏試驗，接触底层完整性的校驗，裂变物質在元件中分布的均匀性. 2)輻射試驗和在溫度諧共振情况下的热稳性試驗. 3)鈾的金相学研究. 在第五章中研究放射性射綫对堆材料性質的影响(燃料及結构材料). 第六章介紹了液体材料和气体材料在反应堆建造中的应用，以及有关水、气体、液态金属、有机液体的一些資料. 并且还研究了結构材料在不同介質中的腐蝕問題. 第七章介紹的是被利用过的核燃料的处理問題. 第八章是談慢化剂及其制备. 第九章是屏蔽材料的敍述和制造(混凝土、含硼材料及 γ 輻射的屏蔽材料). 在第十章（最后一章）中敍述了制备控制棒所用的基本材料，并包括非金属材料在金属中的弥散和含硼材料等問題.

外国原子能技术　第四期（1960 年）第一篇是尤兹（Д. Юз）写的文章，这里介紹了裂变物質对热中子截面的世界上最新的数据，这些数据将要发表在《中子截面图册》的附录里面，这些完全和以前的数据相符合. 而新数据比旧数差的誤差小二分之一.

在伯厄尔（O. Бэер）等的摘譯文章中，介紹了加速器 DESY（在汉堡）的工作和結构原理，这項設备是用来获得能量 60 亿电子伏的电子，它还可以継續提高到 75 亿电子伏.

后面四篇文章是介紹堆技术的，第一篇介紹了“西屋”公司拟制的三个动力堆的設計，对其中两个設計，公司将保障生产电能的价格为 0.73 分/千瓦·小时，这二个設計是蒸气火过热堆和压力水堆，第三个堆类似苏联烏拉尔原子电站中的堆，“西屋”公司認为这种类型的堆是最有前途的，在这篇文章中还作了小功率动力堆（$23M_{Bm}$）与沸水堆在經济上比較的結果．第二篇文章討論了有机液体在美国原子反应堆利用的問題，列出了 OMRE 堆运行数据，和建立在比庫（Пикуа）的有机慢化剂和有机載热剂堆，以及高功率堆 OMCR 的数据．第三篇文章是哈孟特（Р. Хэмонд）等写的，其中介紹了释热元件无复盖层的 TURRET 堆的設計，这个堆是洛斯阿拉摩斯实驗室設計的，热功率为 3 兆瓦，用在活性区中被加热到 1300°C 的氦气冷却．在第四篇的巴捷克杰尔（А. Пойндейкстер）文章中研究了降低核燃料生产价格的問題，文章指出降低价格的途径之一，是在一次循环中被加工的燃料的量最合理的选择，其中也列出了对不同类型燃料加工的价格．

在帕鲁士（Л. Прус）等人的文章里，描述弥散于鈦中的浓縮硼材料．

在最后一篇文章里，討論了記录射綫的电子学的运用問題（鑑別器，振幅分析器）．

期 刊 論 文

I. ФИЗИКА ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Вопр. истории естествознания и техники, вып. 8 (1959)

Воробьев А. А., 33—47. Из истории развития электронных ускорителей.

Вопр. философии, № 12 (1959)

Кузнецов И. В., Панасюк И. С., 120—127. О влиянии внешних условий на протекание процесса радиоактивного распада.

Докл. АН СССР, 129, № 3 (1959)

Куликовский А. Г., Любимов Г. А., 525—528. Простейшие задачи, содержащие ионизирующую газ ударную волну в электромагнитном поле.

Изв. АН СССР, серия физ., XXIII, № 12 (1959)

Баранов С. А. и др., 1402—1410. Большой α-спектрометр с двойной фокусировкой.

Самойлов П. С., 1416—1430. Новые данные о распаде Am^{241}.

Берковский А. Г. и др., 1517—1519. Некоторые характеристики новых фотоэлектронных умножителей.

Изв. высш. учеб. заведений, Физика, № 6 (1959)

Акимов Ю. М., 3—4. К вопросу о выводе электронов из камеры бетатрона методом несимметричного смещения.

Москалев В. А., 5—9. Конструкция и магнитные характеристики двухкамерного стереобетатрона на 10 *Мэв*.

Преображенский Н. Г., 31—41. О деформации контура спектральной линии, излучаемой в высокотемпературной оптически плотной плазме.

Муравьев И. И., 71—75. К вопросу об измерении электронной температуры и относительной концентрации электронов зондовым и оптическим методом.

Глауберман А. Е., Порфирьева Л. А., 76—84. О высших приближениях в новой форме «плазменных» разложений.

Коваленко Е. С., 85—89. Синхротрон с обобщенным высокочастотным полем.

Гагин Е. Н. и др., 95—101. Некоторые вопросы электронного электростатического генератора Ван-де-Граафа.

Рязин П. А., Минервин А. Б., 112—123. К исследованию захвата электронов в режим ускорения в бетатронах и синхротронах.

Лобанов Ю. Н., Тулянова Н. И., 124—130. О некоторых особенностях захвата и ускорения электронов в бетатроне.

Авраменко М. Д., 131—134. Некоторые факторы, влияющие на интенсивность гамма-излучения бетатрона.

Круглов С. П. и др., 139—144. Соотношение между «рентгеном» и энергией γ-излучения, падающей на квадратный сантиметр.

Изв. Томского политехн. ин-та, 96, № 1 (1959)

Степанов В. Г., Кухтин В. А., 119—129. Ионный преобразователь частоты для питания бетатрона.

Приборы и техника эксперимента, № 6, (1959)

Паты Л., 3—10. Измерение сверхвысокого вакуума. I.

Григорьев А. М., 10—13. Манометры для измерения сверхвысокого вакуума.

Горячев Ю. М. и др., 13—17. Измерение искажений магнитного поля в ускорителях с жесткой фокусировкой.

Усова И. Н., 17—19. О точности абсолютных измерений интенсивности пучка фотонов от мишени синхротрона ионизационными камерами.

Антонов А. В. и др., 20—24. Автоподстройка реактивных параметров резонансной системы циклотрона.

Афанасьев И. И. и др., 25—27. Щелевой ионный источник для циклотрона.

Федоров Н. Д., Холмовский Ю. А., 27—29. Измерение ширины пучка ионов вблизи источника циклотрона.

Гряшаев И. А. и др., 30—32. Измерение фа-

зовой ширины сгустков электронов, ускоренных в линейном ускорителе.

Кулешов Г. Д., Павловский А. И., 119—120. Холодный катод в инжекторе для бетатрона.

Сб. науч. тр. Томского инж.-строит. ин-та, 5 (1959)

Вяльцев А. Н., 141—150. Перспективы развития ядерной физики.

Atomwirtschaft, IV, H. 12 (1959)

Haefer R., Zinsmeister G., 528—532. Вакуумная система кольцевой камеры синхротрона энергией 25 *Бэв* ЦЕРНа.

Brit. J. Appl. Phys., 10, No. 12 (1959)

Sisefsky, J., 526—529. Фотографический метод идентификации микроскопических радиоактивных частиц.

Canad. J. Phys., 37, No. 12 (1959)

Sodha M., 1380—1383. Спектральное распределение тормозного излучения из ионизированного газа.

Baerg A. et al., 1418—1437. Угловое распределение осколков фотоделения.

Katz L., 1455—1464. Калибровка деления бетатрона.

Indian J. Phys., 42, No. 9 (1959)

Ghosh. A., 395—400. Γ_n^0/D для комплексного потенциала с диффузионной границей.

J. Appl., Phys., 30, No. 11 (1959)

Sacuntala M. et al., 1669—1671. Электродвижущая сила в сильно ионизированной плазме, движущейся в магнитном поле.

Lewis H., Reitz J., 1838—1839. Напряжение разомкнутой цепи плазменной термопары.

Kernenergie, 2, H. 12 (1959)

Flach G., Müller Kh., 1068—1071. О динамической поправке при вычислении коэффициентов внутренней конверсии γ-лучей.

Nucl. Energy, 14, No. 140 (1960)

— — 14—19. Новая лаборатория нейтронной физики в Харуэлле.

Nucl. Instrum. and Methods, 6, No. 1 (1959)

Livingston R., Howard F., 1—25. Окриджский релятивистский изохронный циклотрон.

Morinaga H., Kuroyanagi T., 66—71. Внутренняя мишень для бетатрона.

Nucl. Phys., 14, No. 1 (1959)

Leblanc J. et al., 120—130. О расщеплении максимума нейтронной силовой функции вблизи A=55.

Nukleonik, 1, H. 9 (1959)

Männer W., Springer T., 337—341. Измерения потока резонансных нейтронов методом активации зондов.

Özemre A., 347—351. Временная зависимость потоков нейтронов в свете многогрупповой теории диффузии.

Nuovo Cimento, XIV, N. 5 (1959)

Gotō T. et al., 1065—1075. О механизме пинч-эффекта.

Emma V., Milone C., 1149—1156. Фотонейтроны из калия и кальция.

Physica, 25, No. 11 (1959)

Brinkman H., 1063—1066. Вихревые уравнения магнитогидродинамики.

II. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Тр. Ин-та физ. химии АН СССР, вып. 5 (1959)

Бялобжеский А. В., Вальков В. Д., 119—132. Методика коррозионных и электрохимических исследований металлов в потоке жидкости под действием ионизирующих излучений.

Бялобжеский А. В., 133—138. Прибор для исследования атмосферной коррозии металлов под действием ионизирующего излучения.

Тр. Научно-техн. о-ва судостроит. пром-сти, 8, вып. 5 (1959)

Агафонов Н. А., 81—93. Проект электродвижения ледокола «Ленин».

Atomkernenergie, 4, H. 11 (1959)

Thielheim K., 429—437. Размножение быстрых нейтронов в тепловыделяющих элементах большой толщины.

Angelopoulos M., 437—442. Определение коэффициента использования тепловых нейтронов в блоке решетки.

Schröder E., 442—445. Расчет температуры и механических напряжений в защитных устройствах реакторов.

Kattwinkel W., 446—449. Определение удельной активности жидкости в зависимости от мощности дозы, измеряемой на поверхности цилиндрических сосудов или труб.

Fitzer E. et al., 449—455. Развитие графитовых реакторов в ФРГ.

Braunbek W., 455—458. Методы измерений в ядерной физике. XII.

Atomkernenergie, 4, H. 12 (1959)

Balz W., Schwarzwälder R., 469—473. Расчет циркуляции для кипящего реактора.

Benzler H. et al., 473—476. Создание оптимальных теплотехнических условий в реакторах с газовым охлаждением.

Kliefoth W., 493—500. Лабораторные и учебные реакторы.

Braunbek W., 501—503. Методы измерений в ядерной физике. XIII.

Atomwirtschaft, IV, H. 11 (1959)

Kintner E., 463—467. История создания прототипа ядерного реактора для подводной лодки «Наутилус».

Daldrup H., 468—471. Первое атомное торговое судно—«Саванна».

Hildenbrand G., 479—487. Ядерный реактор типа «Аргонавт».

Hildenbrand G., 487—490. Место расположения реактора типа «Аргонавт».

Atomwirtschaft, IV, H. 12 (1959)

— — 505—520. Экономический обзор развития атомной промышленности в 1959 г.

Kourim G., 533—536. Влияние температуры на динамику реактора.

Energia Nucl., N. 12 (1959)

Ascari A. et al., 753—762. Подготовка к пуску реактора «Авогадро RSI».

Svelto V., 763—767. Вычислительные машины непрерывного действия для реакторных установок.

Industries Atomiques, III, No. 9/10 (1959)

Darras R., 41—61. Коррозия, вызываемая в ядерных реакторах газовыми теплоносителями.

Jaderná Energie, 6, No. 1 (1960)

Teply J., Seidl K., 3—8. Органические замедлители и теплоносители.

Nucl. Energy, 14, No. 140 (1959)

— — 11—13. Усовершенствованные системы водяных реакторов.

Bowden A., Drumm J., 22—25, 43. Проектирование больших газовых каналов.

Nucl. Engng, 5, No. 44 (1959)

Allen J., 5—9. Пусковые испытания реактора-размножителя в Даунри.

Vaughan R., 10—13. Управление реактором при быстром выгорании.

Burgess H., 14—18. Конференция по судовым атомным установкам.

Nucl. Power, 5 No. 45 (1960)

— — 82—95. Обзор национальных программ развития атомной энергетики.

Guard R., 96—98. Успехи реакторостроения.

Newmarch D., 98—99. Новые методы в физике реакторов.

Steiner C., 108—110. Перспективы развития атомных судов.

Ford G., 111—116. Оценка четырех типов энергетических реакторов.

Hall G., 118—121. Проблемы критичности при проектировании химических установок.

Nucleonics, 18, No. 1 (1960)

Mesler R., 73—75. Быстрый метод определения активации нейтронами.

Hughes E., Greenwood J., 76—80. Загрязнение и очистка реактора NRU.

Mooradian A. et al., 81—85. Повреждение тепловыделяющих элементов реактора NRU вследствие проникновения в них воды.

Fortescue P. et al., 86—90. Основы проектирования реактора HTGR.

Dickinson R., 107, 109—111. Повреждение тепловыделяющих элементов реактора SRE вследствие закупорки каналов теплоносителем.

Nukleonik, 1, H. 9 (1959)

Smets H., 351—357. Изменение мощности реактора в зависимости от изменения линейной реактивности.

Sizmann R., 357—368. Основы физического действия излучения на твердые тела.

Nukleonika, IV, Nr 5 (1959)

Frankowski W., 491—504. Выбор характеристик реактора для испытания материалов.

Krejci M. et al., 505—521. Применение моделирующих машин при проектировании ядерных реакторов. Моделирующая машина Чехословацкого института ядерной физики.

Dabek W., 523—546. Интегрирующая ионизационная камера, применяемая при управлении ядерными реакторами.

III. ЯДЕРНОЕ ГОРЮЧЕЕ И МАТЕРИАЛЫ

Докл. АН СССР, 129, № 4 (1959)

Минеев Д. А., Ступникова Н. И., 916—918. О природе радиоактивности ортитов и соотношения в них урана, тория и редких земель.

Старик И. Е. и др., 919—921. Концентрация изотопов тория в водах Черного моря.

Ж. неорганич. хим., 4, вып. 11 (1959)

Вдовенко В. М. и др., 2502—2504. Распределение Cs, Ca, Sr и La между водным раствором и метилбутилкетоном в присутствии урана.

Майорова Е. П., Фомин В. В., 2511—2514. Влияние сульфат-ионов на коэффициент распределения макроколичеств тория при экстракции ТБФ.

Клыгин А. Е. и др., 2623—2629. Изучение системы $UO_2(NO_3)_2$—этилендиаминтетрауксусная кислота—вода методом растворимости.

Изв. АН Киргиз. ССР, серия естеств. и техн. наук, 1, вып. 3 (1959)

Чалов П. И., Мусин Я. А., 113—118. Радиометрическое определение содержания урана-238 и тория-234 в растворах в присутствии других радиоэлементов уранового ряда.

Мусин Я. А., Чалов П. И., 119—125. К вопросу об использовании гамма-излучения продуктов распада радия как индикатора для количественного определения содержания урана в рудах.

Тр. по химии и хим. технол. (г. Горький), 1 (1959)

Левин П. И. и др., 3—7. Применение метода меченых атомов для исследования обратимости реакции полимеризации метилметакрилата.

Усп. хим. наук, XXVIII, вып. 12 (1959)

Козлов В. В., Вольфкович С. И., 1403—1449. Восьмой Менделеевский съезд по общей и прикладной химии.

Atomkernenergie, 4, H. 12 (1959)

Fitzer E. et al., 476—480. Развитие графитовых материалов для реакторов в ФРГ (II).

Atompraxis, 5, H. 12 (1959)

Getoff N., 472—474. Радиометрическое определение содержания гафния в цирконии.

Atomwirtschaft, IV, H. 12 (1959)

Hofmann A. et al., 525—527. Система вентиляции в радиохимической лаборатории лакокрасочного завода.

Energia Nucl., 6, H. 12 (1959)

Cerrai E., Testa C., 768—780. Экстракция и разделение циркония и гафния методом жидких анионных обменников в хлористоводородной кислоте. II.

Ascoli A. et al., 781—783. Простой метод выращивания кристаллов.

Brigoli B., Villand S., 784—792. Предварительный расчет установки для разделения дейтерия.

Damiani L., Fattore V., 793—798. Равновесная система азотная кислота—вода и трибутилфосфат.

Industries Atomiques, III, No. 9/10 (1959)

de Chanvalon E., 71—77. Лаборатории для исследования облученного горючего.

Jaderna Energie, 5, No. 12 (1959)

Vrtěl J., 397—404. Проблемы материалов для баков высокого давления ядерных реакторов.

Jaderna Energie, 6, No. 1 (1960)

Vrtěl J., 9—15. Материалы для управляющих стержней реактора.

J. Appl. Phys., 30, No. 11 (1959)

Kline D., Jacobs A., 1741—1747. Вычисление скорости выделения энергии в полиэтилене при облучении в реакторе.

Hall R. et al., 1846—1847. Исследование отжига кристалла, облученного в реакторе.

J. Inorg. and Nucl. Chem., 11, No. 3 (1959)

Kjelberg A., Pappas A., 173—180. Быстрое радиохимическое выделение мышьяка из осколков и независимый выход As^{78} при делении U^{235} тепловыми нейтронами.

Harder R., Chaberek S., 197—209. Взаимодействие ионов редкоземельных элементов с диэтилентриаминпентауксусной кислотой.

Elving J., Krivis A., 234—241. Полярографическое восстановление U (VI) в присутствии и в отсутствие комплексообразующих реагентов. Природа сульфатных комплексов U (V).

Scherff H., Herrmann G., 247—248. Получение Zr^{95} без Nb^{95} экстракцией теноилтрифторацетоном.

Arnikar H., 248—251. Изотопный эффект электромиграции ионов лития в геле агар-агара.

Gatti R., et al., 251—253. Ионообменные свойства менделевия.

J. Inorg. and Nucl. Chem., 11, No. 4 (1959)

Goodall C., Moore R., 290—296. Соосаждение протактиния с двуокисями марганца, свинца и олова.

Smith T., 314—319. Влияние фтор-ионов на комплексообразование U (IV) с этилендиаминтетрауксусной кислотой.

de Maine P., Koubek E., 329—336. Неорганические соли, растворенные в неводных или смешанных растворителях. I.

Kernenergie, 2, H. 12 (1959)

Ardenne M. et al., 1094—1104. Спектры неорганических веществ как основа шкалы масс высокочастотных масс-спектрографов для многоатомных молекул.

Steinkopff H., Thumler. F., 1105—1114. Уран-кремниевые сплавы и соединения.

Fodor M., 1115—1118. Применение метода разделения с участием комплексообразования и ионообменников при количественном определении урана.

Schneer A., 1119—1121. Применение объемноаналитического метода для определения циркония.

Naumann D., Riedel S., 1122—1125. Обогащение Fe^{59} из ферроцена и ацетилферроцена методом Сциларда—Чалмерса.

Munze R., Jantsch K., 1126—1130. Образование Ca^{45} в результате реакции Sc^{45} (n, p) Ca^{45}. I. Определение выхода Ca^{45} при различных условиях облучения.

Nucl. Engng, 5, No. 44 (1959)

Eaton N., 19—22. Сварка электронным лучом.

Scarlett N., Clifffe J., 23—26. Стойкие к облучению смазки.

— — 31—32. Промышленное производство бериллия.

Nucl. Power, 5, No. 45 (1960)

Hall G., 101—103. Химия обработки.

Ball J., 103—105. Ядерное горючее и материалы.

Nukleonika, IV, Nr 5 (1959)

Minc S., Stolarczyk L., 473—485. Проблемы радиационной химии водных растворов.

Шарпатый В., Орехов В., 487—489. О радиолитическом восстановлении нитрата в водных растворах, насыщенных водородом.

Research, XII, No. 12 (1960)

Groth W., 467—474. Газовые центрифуги.

Z. Metallkunde, B. 50, H. 12 (1959)

Schleicher H., 687—690. Влияние добавок палладия на коррозию циркония в горячей воде.

IV. ЗАЩИТА ОТ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Изв. АН СССР, серия физ., 23, № 11 (1959)

Тимофеева Т. В., Хормушко Т. П., 1283—1285. Новые данные о детекторе медленных нейтронов.

Изв. АН УзССР, серия физ.-матем. наук, № 5 (1959)

Арифов У. А. и др., 12—18. Исследование гамма-лучевого метода морки и консервации коконов тутового шелкопряда.

Измерит. техника, № 12 (1959)

Балон З. П. и др., 47—51. Градуировка γ-дозиметров в диафрагмированных пучках лучей.

Белова Р. С., Янковский И. И., 51—52. Измерение потока быстрых нейтронов индивидуальным дозиметром.

Мед. радиология, IV, № 12 (1959)

Домшлак М. П. и др., 3—11. Задачи экспериментальной техники лучевых воздействий и некоторые радиобиологические данные.

Андреева О. С., 59—63. Гигиеническая оценка условий труда при работе с некоторыми радиоактивными минералами и образцами руд.

Охрана труда и соц. страхование, № 11 (1959)

Беляев А., 16—18. На Воронежской атомной (Охрана труда на электростанции).

Усп. хим. наук, XXVIII, вып. 12 (1959)

Рачинский Ф. Ю. и др., 1488—1522. Химические средства профилактики острой лучевой болезни.

A. M. A. Arch. Industr. Health, 20, No. 5 (1959)

Harris W. et al., 365—382. Опасность радиоактивных поражений, связанная с обработкой урановой руды.

Atomkernenergie, 4, H. 12 (1959)

Wagner R., 481—490. Применение электрофильтров для исследования радиоактивных аэрозолей.

Reiter R., 490—492. Измерения радиоактивности воздуха, осадков и воды во время наводнения в области Северных Альп.

Atompraxis, 5, H. 12 (1959)

Scholz F., 475—481. Вызываемые ионизирующим излучением мутации и выращивание сельскохозяйственных культур.

Atomwirtschaft, IV, H. 11 (1959)

Muth H., 491—494. Международный радиологический конгресс в Мюнхене.

Jaderná Energie, 5, No. 12 (1959)

Beneš J. et al., 409—412. Ядерные эмульсии для нейтронной дозиметрии.

Eckardt A., Heinecke U., 1072—1079. Исследование работы счетчиков радиоактивных излучений.

Kernenergie, 2, H. 12 (1959)

Leistner M., Renker K., 1080—1089. Автоматическое устройство для абсолютного определения радиоактивности методом $\beta\gamma$-совпадений с помощью счетчиков Гейгера—Мюллера.

Renker K., Erler H., 1090—1093. Импульсное устройство, применяемое при измерениях с помощью искровых счетчиков.

Nucl. Engng, 5, No. 44 (1959)

— — 27. Удаление радиоактивных отходов. (Краткий отчет о конференции в Монако.)

Nucleonics, 18, No. 1 (1960)

Goldsworthy W., 92, 94, 96, 98, 99. Полупроводниковый прибор для измерения скорости счета.

Domer F., Hayes F., 100. Зависимость фона от эффективности жидких сцинтилляторов.

Nukleonik, 1, H. 9 (1959)

Verly W. et al., 325—329. Дозировка трития в пропорциональном счетчике.

Ciccarone P. et al., 329—332. Дозировка трития в пропорциональном счетчике. II—Приготовление образцов.

Nukleonika, IV, Nr 5 (1959)

Dancewicz A., 347—555. Радиобиологические работы Отдела здравоохранения Института ядерных исследований.

Hermanowicz W., 557—566. Исследование радиоактивности воды р. Вислы в границах Большой Варшавы.

Science, 130, No. 3386 (1959)

Gustafson Ph., 1404—1405. Отношение активности Cs^{137} к активности Sr^{90} в почве.

Sewage and Industr. Wastes, 31, No. 11 (1959)

Smith J., 1323—1326. Удаление жидких радиоактивных отходов с атомных судов.

V. РАДИОАКТИВНЫЕ И СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Вестн. с.-х. науки, № 11 (1959)

Емельянов В. А., Зайцев А. И., 103—109. Итоги использования радиоактивных изотопов в мелиоративных исследованиях.

Вопр. экономики, № 12 (1959)

Соколовский А., 166—167. Изучение экономической эффективности использования изотопов.

Заводск. лаборатория, 25, № 11 (1959)

Нисневич А. И., 1341—1342. О величине радиации при изучении износа деталей с применением радиоизотопов.

Измерит. техника, № 12 (1959)

Меркулов В. С., Климушев А. В., 52—54. Определение массового содержания компонент бинарных систем методом ослабления β-,γ-излучений.

Механиз. и электрифик. соц. с.-х., № 6 (1959)

Срапенянц Р. А., 14—19. Применение радиоактивных изотопов при исследованиях двигателей.

Сб. тр. Всесоюз. н.-и. горно-металлургич. ин-та цвет. металлов, № 5 (1959)

Плотников В. И., 7—12. Применение радиоактивных изотопов в работах ВНИИЦ ветмета.

Сообщ. Гипрококса, вып. 22 (1959)

Затыльников В. И., 307—313. Применение радиоактивных средств автоматизации в коксохимической промышленности.

Industr. Chemist, 35, No. 418 (1959)

Hall G., 577—579. Применение больших источников излучения в промышленности.

Industries Atomiques, III, No. 9/10 (1959)

Nordau C., 79—84. Отдел изотопов в Институте Вейцманна.

Jaderná Energie, 5, No. 12 (1959)

Bednář J., Křivánek M., 405—408. Источник

гамма-излучения из Co^{60} активностью 400 *кюри*.

Kernenergie, 2, H. 12 (1959)

Dietzsch W., 1053—1067. Некоторые специальные проблемы, возникающие при измерении толщины с помощью γ-лучей.

Nucl. Energy, 14, No. 140 (1960)

Paulsen F., 27—30. Производство изотопов в Голландии.

Nucl. Instrum. and Methods, 6, No. 1 (1959)

Trageser D., 26—32. Техника обработки электронными пучками.

Delattre P., 83—93. Ядерные реакторы как инструмент для физических исследований.

Andrews H., 96—100. Ускорители для биологии и медицины.

Nucl. Power, 5, No. 45 (1960)

Maddock A., 105—106. Применение ядерных излучений.

Nucleonics, 18, No. 1 (1960)

Coultry J., Briggs H., 117—118, 120. Применение радиоактивных источников для индикации осевого положения реактивного двигателя.

Nukleonik, 1, H. 9 (1959)

Vincent D., 332—336. Абсолютные измерения интенсивности излучения радиоактивных изотопов, распадающихся при электронном захвате.

СОДЕРЖАНИЕ
АВГУСТОВСКОГО ВЫПУСКА ЖУРНАЛА "АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ" ЗА 1960 ГОД

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

БИБЛИОГРАФИЯ

征求譯者簡約

1. 本編委会征求俄、英、德、法、日等文种的譯者，譯文内容包括原子能科学技术有关的資料和新聞报导.
2. 凡愿参加翻譯者請来信联系，注明眞名、专业、翻譯文种、工作机关及詳細通信地址.
3. 凡向"原子能譯丛"杂誌推荐的譯文选題，在未与本編輯部联系前，請勿开譯，以免重譯或选材不合本刊要求．选題須注明来源和内容摘要.
4. 譯稿經采用后酌致稿酬.
5. 惠件請寄"北京市邮局 287 信箱".

中国科学院原子核科学委員会編輯委員会

原 子 能（月刊）

編輯者	中国科学院原子核科学委員会編輯委員会（北京邮箱287号）
出版者	科学出版社
印刷者	中国科学院印刷厂
总发行处	北京市邮局
訂購处	全国各地邮电局
代訂零售处	全国各地新华书店 科学出版社各地門市部

（京）1—3,820　　1960年8月5日出版
延至10月下旬出版

本刊代号：2—212

定价：1.10元